

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра авіоніки

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Павлова С.В.
“ _____ ” _____ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
“МАГІСТР”**

Тема: Лазерний доплерівський витратомір

Виконавець: Поляк Сергій Володимирович

Керівник: Землянський Володимир Михайлович

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

Козлітін О.О.

Фролов В.Ф.

Нормоконтролер: Левківський Василь Васильович

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напря́м (спеціальність) 173 «Авіоніка»
(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Павлова

С.В.

«_____» _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ
на виконання дипломної роботи

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи _____

затверджена наказом ректора від «_____» _____ 202__ р.
№ _____

2. Термін виконання роботи : з _____ по _____

3. Вихідні дані до роботи : _____

4. Зміст пояснювальної записки: _____

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

6. Календарний план-графік

[illegible]

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

8. Дата видачі завдання: “ _____ ” _____ 202__ р.

Керівник дипломної роботи (проекту) _____
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Загальний обсяг пояснювальної записки до дипломної роботи на тему «Лазерний доплерівський витратомір» складає 60 сторінок та містить 16 рисунків, 1 таблицю, 13 використаних джерел.

ВИТРАТА РЕЧОВИН, ЛАЗЕРНИЙ ВИТРАТОМІР, ЕФЕКТ ДОППЛЕРА,

ЦИВІЛЬНА АВІАЦІЯ, ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

У дипломній роботі розглянуто основні методи вимірювання витрати речовин, проаналізовано існуючі типи витратомірів, їх переваги та недоліки, та розроблено сучасний прототип лазерного доплерівського витратоміру .

Дипломна робота складається з п'яти розділів.

У розділі 1 дипломної роботи були розглянуті загальні відомості про методи вимірювання витрати речовин, описані існуючі пристрої-витратоміри, проаналізовані напрямки застосування витратомірів.

У розділі 2 дипломної роботи були розглянуті різновиди оптичних витратомірів, проаналізовані відомі лазерні витратоміри, оцінені переваги та недоліки витратомірів, заснованих на ефекті Доплера.

У розділі 3 дипломної роботи був розроблений лазерний доплерівський витратомір, який дозволяє істотно підвищити відношення сигнал / шум і відповідно точність вимірювання швидкості і витрати рідкого середовища. Крім того пропонований ЛДВ має меншу вагу і вартість в порівнянні з прототипом, в якому необхідно використовувати замість одного два лазера.

У розділі 4 дипломної роботи було досліджено вплив лазерного випромінювання на працівника і розроблено заходи що дозволяють зменшити негативні наслідки під час роботи.

У розділі 5 дипломної роботи було визначено негативні фактори впливу лазерного випромінювання на навколишнє середовище та людину, а також

методи захисту від їх впливу. Були наведені допустимі норми забруднень навколишнього середовища згідно з основними стандартами.

Матеріали дипломної роботи рекомендуються використовувати під час проведення наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності на підприємствах.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РЕЧОВИН.....	12
1.1. Історія розвитку витратомірів.....	13
1.2. Теорія вимірювання витрати рідких речовин.....	13
1.3. Відомі методи вимірювання витрати палива.....	15
1.4. Напрямки застосування витратомірів.....	17
1.5. Опис приладів для вимірювання витрати рідких речовин.....	20
1.5.1. Магнітно – індуктивні витратоміри.....	20
1.5.2. Витратоміри Коріоліса.....	22
1.5.3. Ультразвукові витратоміри.....	23
1.5.4. Вихрові витратоміри.....	26
1.5.5. Оптичні витратоміри.....	28
1.5.6. Міточні витратоміри.....	29
1.5.7. Турбінні витратоміри.....	31
1.5.8. Витратоміри витіснювального типу.....	32
1.5.9. Витратоміри з різницею тиску.....	33
1.5.10. Витратоміри обтікання.....	35
1.5.11. Теплові витратоміри.....	37
1.6. Висновки до розділу	39
РОЗДІЛ 2 ОПТИЧНІ ВИТРАТОМІРИ.....	41
2.1. Різновиди оптичних витратомірів.....	41
2.2. Допплерівські витратоміри.....	42
2.3. Витратоміри, що базуються на онові ефекту Фізо-Френеля.....	45
2.4. Особливі оптичні витратоміри.....	47
2.5. Висновки до розділу	49
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА НОВОГО ПРОТОТИПУ ЛАЗЕРНОГО ДОППЛЕРІВСЬКОГО ВИТРАТОМІРУ.....	50
3.1. Мета винаходу.....	50
3.2. Недоліки існуючого прототипу.....	51
3.3. Пристрій для вимірювання витрати оптично активних паливо- мастильних матеріалів.....	52
3.4. Висновки до розділу	55
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОКГ	- оптичний квантовий генератор-лазер
ПС	-повітряне судно
ПНГ	-попутний нафтовий газ
ФЕП	-фотоелектронний помножувач
ЛДВ	-лазерний доплерівський витратомір
ЛА	-літальний апарат
ПММ	-паливо-мастильні матеріали

ВСТУП

Актуальність теми. В наш час цивільна авіація відіграє велику роль в єдиній транспортній системі і народному господарстві країни.

В загальному пасажирообігу усіх видів транспорту цивільна авіація займає третє місце. На її долю припадає третина пасажирообігу в міжнародних сполученнях, а на дальніх магістралях – більш ніж 80%. Літаки цивільної авіації виконують, крім того, регулярні пасажирські та вантажні рейси в Європу, Азію, Африку, Північну Америку.

Основні задачі вітчизняного авіа транспорту – своєчасне, якісне і повне задоволення потреб народного господарства і населення в перевезеннях, підвищення економічної ефективності його роботи, для цього треба вдосконалювати єдину систему управління повітряним рухом, прискорюючи введення відповідних автоматизованих систем. Збільшити пасажирообіг, скоротити питому витрату палива на 3–5%.

Також основними показниками ефективності роботи авіаційної транспортної системи є безпека та регулярність польотів повітряних суден, економічності їх експлуатації.

Кажучи про безпеку польотів, потрібно усвідомлювати, що це, перш за все, – безумовна відповідність нових літаків вимогам норм польотної придатності. З точки зору регулярності – це виконання планового технічного обслуговування і ліквідація відмов техніки заданий час. І, окремо, щодо економічності експлуатації – це виконання технічного обслуговування і відновлення пошкоджених виробів з заданою трудомісткістю та вартістю.

Кількість затримок рейсів зменшилось, завдяки скороченню часу, який витрачається на пошук та ліквідацію відмов та неполадок, а також підвищенню якості ремонту вузлів та блоків авіаційної техніки. Роль приладів, як основного джерела об'єктивної інформації про стан режимів

роботи та справності обладнання, правильності настройки його агрегатів, підвищується.

В зв'язку зі змінами основних характеристик сучасних літальних апаратів – швидкості і висоти польоту, дальності, вантажопідйомність, потужність силових установок – створилась потреба для значних змін технічних вимог до бортових вимірювальних приладів, в тому числі, і до систем вимірювання витрати палива.

Витратоміри використовуються також для проведення науково-дослідних робіт, управління виробничим процесом, для контролю роботи енергетичних установок, управління літаками і космічними апаратами, контролю роботи зрошувальних систем в сільському господарстві і в багатьох інших випадках. Без витратомірів неможливо забезпечити нормальний режим роботи важливих технологічних процесів в таких галузях промисловості, як енергетика, металургія, нафтогазова, хімічна, целюлозно-паперова, харчова та інші. Без цих приладів не можна також і автоматизувати відповідні процеси і забезпечити при цьому максимальний ефект виробництва. Витратоміри сприяють підвищенню якості виготовлення продукції, ліквідації браку і економії вихідних матеріалів. Річний економічний ефект від впровадження витратомірів в масштабах всієї країни вимірюється мільйонами грн.

В теперішній час на борту літального апарату використовуються витратоміри палива в яких в якості первинного перетворювача застосовується крильчатка. Таким є турбінний перетворювач витрат палива. До його складу входить гідравлічна крильчатка, вісь обертання якої рівнобіжна напрямку потоку.

Основним недоліком цього перетворювача являється вплив моменту тертя в осях крильчатки на точність вимірювання витрат.

До числа порівняно нових, але таких що швидко розвиваються, методів вимірювання локальних швидкостей потоку і витрати відносяться методи, засновані на застосуванні оптичних квантових генераторів-лазерів (ОКГ).

Перевагами цих методів є: безконтактність, висока чутливість, мала інерційність, великий діапазон вимірювань швидкостей і витрат незалежно від фізичних властивостей вимірюваного середовища (як рідин, так і газів), за винятком вимоги її прозорості в діапазоні довжин хвиль, випромінюваних квантовими генераторами.

Найбільш перспективним є використання оптичних методів в експериментальній гідродинаміці, особливо в області турбулентних явищ, вивчення яких традиційними способами (наприклад, за допомогою термоанемометрів) вже не дає бажаних результатів через недостатню точність приладів і, головне, внесення ними спотворень в досліджувану структуру потоку.

Крім того, лазерні витратоміри використовують при вимірюванні витрати агресивних, високо- і низькотемпературних (криогенних) рідин і газів.

В даний час поширення набули дві конструктивні різновиди оптичних (лазерних) витратомірів, які відрізняються покладеними в їх основу фізичними явищами: витратоміри, засновані на ефекті розсіювання світла рухомими частинками (доплерівські витратоміри), і витратоміри, засновані на ефекті Фізо-Френеля.

В оптичному витратомірі, що реалізує перший ефект, випромінювання лазера, розсіяне рухомими в потоці природними або штучно введеними частинками, набуває частотний зсув, пропорційний середній швидкості руху частинок.

Метою дослідження є підвищення точності вимірювання швидкості і витрати оптично активних середовищ, за рахунок використання одного лазера і чотирьох зондуючих пучків, які попарно мають взаємно ортогональні циркулярні поляризації.

Для досягнення вказаної мети необхідно було вирішити наступні задачі дослідження:

- провести аналітичний огляд витратомірів, їх класифікацію, виявлення основних недоліків;
- розробити функціональну схему, що здатна забезпечити високу точність вимірювання;
- дослідити вплив зміни параметрів лазерного доплерівського витратоміру на його характеристики.

У ЛДВ поставлена задача досягається за рахунок того, що в пристрої додатково встановлені поляризатор і чвертьхвильова пластина на виході лазера, друга фокусуюча лінза, оптичні осі двох фокусуючих лінз збігаються з віссю трубопроводу, по якому рухається потік оптично активної рідини, два дзеркала, друга збираюча лінза, оптичний приймальний блок, що складається з двох лінз і апертурними діафрагми між ними, невзаємного фазорегулятора з блоком живлення, два світловоди, а також смуговий фільтр, вхід якого з'єднаний з виходом фотоприймача, а вихід зі входом цифрового вимірювача, при цьому дві фокусуючі лінзи мають круглі центральні отвори, через які проходить прозорий трубопровід, і ці лінзи оптично узгоджені з трьома

дзеркалами і кожна з лінз фокусує два пучка на осі трубопроводу під одним і тим же кутом γ , невзаємний фазорегулятор встановлений на шляху пучка, що направляється другою фокусуючою лінзою на вісь трубопроводу, вихід приймального блоку оптично узгоджений через один світловод із входом фотоприймача, а вихід збираючої лінзи, яка утворює з другою збираючою лінзою другий прийомний блок, також оптично узгоджений через другий світловод із входом фотоприймача.

Об'єктом дослідження є способи та методи вимірювання витрати речовин.

Предметом дослідження є розробка нового прототипу лазерного доплерівського витратоміра.

Методи дослідження – загальнонаукові фізичні методи, методи системного і порівняльного аналізу.

Наукова новизна дослідження. Використання схеми ЛДВ з просвітленою оптикою з чотирма зондуючими пучками, сумарна потужність яких практично дорівнює $P_{\Sigma} = 4P_2$, де P_2 - потужність лазерного пучка, дозволяє істотно підвищити відношення сигнал / шум і відповідно точність вимірювання швидкості і витрати рідкого середовища. При цьому на відміну від прототипу, в якому використовується два лазери, в пристрої використовується тільки один лазер потужністю P_2 . Невзаємний фазорегулятор - комірка Фарадея, дозволяє при використанні двох прийомних блоків і двох світловодів, також підвищити потужність корисного сигналу, оскільки за рахунок регулювання фаз корисних сигналів він забезпечує режим синфазного прийому двох сигналів, що мають однакові доплерівські частоти. Крім того пропонується ЛДВ має меншу вагу і вартість в порівнянні з прототипом, в якому необхідно використовувати замість одного два лазери.

Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 13 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РЕЧОВИН

1.1. Історія розвитку витратомірів

У промисловій галузі вимірювач витрати рухомого середовища називається витратоміром. Є одним з найбільш важливих інструментів в промисловому вимірі. З розвитком промисловості точність і діапазон вимірювання витрати все більш і більш вимогливі, щоб адаптуватися до багатьох застосувань, з'явилися різні типи витратомірів, широко використовуваних в нафтогазовій, нафтохімічній, водоочисній, харчовій галузях.

У 1738 році Д. Бернуллі вперше використав рівняння Бернуллі в якості основи для вимірювання витрати води методом диференціального тиску. Пізніше італійська дослідницька лабораторія Venturi Research використовує трубу Вентурі для вимірювання руху і опублікувала результати в 1791 році. На початку 20-го століття, початковий принцип вимірювання поступово визрівав, люди почали вивчати нові принципи вимірювання, так як з 1910 року США почали розробляти вимір відкритого потоку води через проточний витратомір. У 1911-1912 роках, угорсько-американська T.von Carmen пропонує нову теорію Vortex Street. Також досліджувався метод вимірювання

швидкості потоку рідин і газів звуковими хвилями, але до Другої світової війни не було істотного прогресу.

До 1955 року вже використовувався метод акустичної циркуляції (два комплекти витратоміра Маркуссен) для вимірювання потоку авіаційного палива.

У 1945 році, А. Колін успішно виміряв потік крові змінними магнітними полями. З швидким розвитком технологій широко використовується ультразвуковий (хвильовий) витратомір з PLL-технологією.

Широке застосування мікрокомп'ютера ще більш поліпшило можливості вимірювання витрати, за допомогою лазерного доплерівського витратоміра, який може обробляти складний сигнал.

Сполучені Штати випустили перший патент TUF в 1886 році, а в 1914 році було встановлено, що патенти TUF пов'язані з частотою. Перший TUF в Сполучених Штатах, розроблений в 1938 році, використовується для вимірювання потоку палива на літаку. В даний час він широко використовується в нафтових, хімічних, наукових дослідженнях.

У світі основними виробниками витратомірів є: Bi Tuo ba (Bitobar), Assibrang Boffari (ABB), Emerson (Емерсон), Endershaus (EndressHauser або E h), Кельн (Krohne), Siemens (Siemens), Yokogawa Йогогава), а також GE (General Electric), Honeywell (Honeywell), англійський Invensys.

1.2. Теорія вимірювання витрати рідких речовин

Рідкими тілами називаються фізичні тіла, які легко змінюють свою форму під дією сил незначної величини.

Перебіг рідини характеризується її витратою, величина якого визначається як добуток площі поперечного перерізу поршня на швидкість його руху.

Витрата дорівнює добутку площі поперечного перерізу на швидкість переміщення $Q = S \cdot V$.

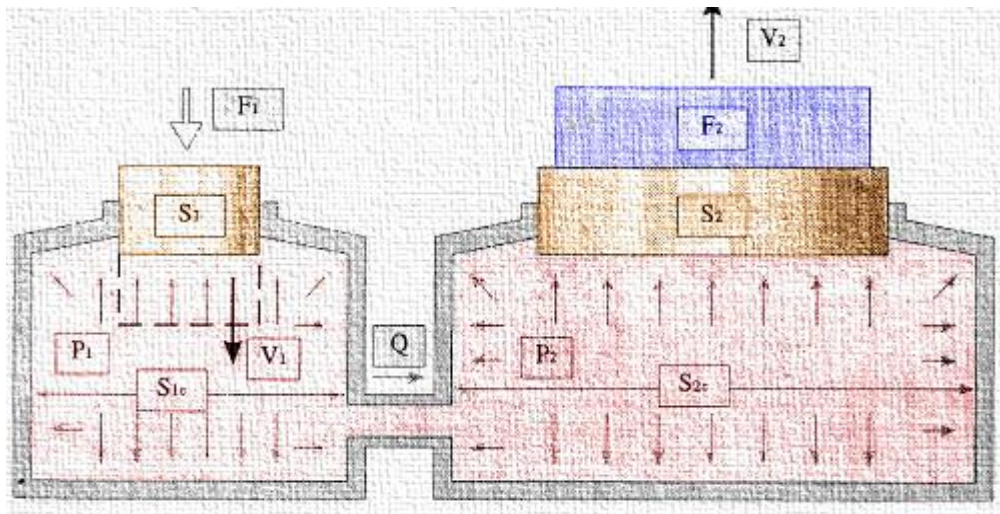


Рис. 1.1

Для загального розуміння, що таке витрата рідини, давайте розглянемо на прикладі.

Якщо в поршень в першій посудині, зображеному на рис.1.1, переміщати вниз з деякою швидкістю, яка зазвичай позначається латинською буквою "V", одночасно впливаючи на нього зусиллям F_1 , то він буде витісняти рідину в другій посудині. Поршень, який буде підніматися зі швидкістю в стільки разів меншою швидкості опускання поршня в першому посудині, у скільки разів площа його поперечного перерізу більше площі поперечного перерізу першого поршня.

У технічній літературі витрата рідини позначається латинською буквою "Q" і може бути представлена також як добуток обсягу рідини переміщуваного за одиницю часу. Відповідно, вираз для витрати рідини може бути представлено у вигляді:

$$Q = W / t;$$

Буквою "W" позначена величина витісненого об'єму рідини, а "t" - час витіснення, або $Q = S \cdot V$. Так як $V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2$, оскільки обсяг рідини, витіснений за деякий час з першої посудини, надійшов у другу посудину за цей же час, а значить витрата рідини що витікає з першої посудини, дорівнює витраті рідини, що надходить в другу посудину:

$$V_2 = (V_1 \cdot S_1) / S_2$$

Рідина в другій посудині буде текти повільніше в стільки разів, у скільки разів площа поперечного перерізу цієї посудини більше площі перетину першої посудини (літерами S_1 і S_2 позначені площі перетину судин), а S_1 і S_2 (площі перетину їх горловин).

Найбільш часто на практиці зустрічаються такі одиниці вимірювання витрати:

- $\text{см}^3 / \text{с}$ (відношення кубічних сантиметрів до секунди);
- $\text{л} / \text{хв}$ (відношення літрів до хвилини) - $1 \text{ см}^3 / \text{с} = 0,06 \text{ л} / \text{хв}$

В європейських країнах використовуються також величини dm^3/min (відношення кубічного дециметра до хвилини), яка чисельно дорівнює $\text{л} / \text{хв}$.

В Англії, США і Японії використовується величина, яка представляє собою відношення обсягу, вираженого в імперських галонах, до хвилини і позначається, як "imgalpm" і "galpm". Перерахунок цих величин в $\text{л} / \text{хв}$ може бути виконаний по співвідношенню: $1 \text{ imgalpm} = 4.5 \text{ л} / \text{хв}$ і $1 \text{ galpm} = 3,8 \text{ л} / \text{хв}$.

1.3. Відомі методи вимірювання витрати палива

Існує ряд методів вимірювання витрати палива. До найбільш поширених,

які мають поширення в авіації можна віднести:

- об'ємний;
- гідродинамічний (змінного перепаду тиску);
- метод постійного перепаду тисків;
- відцентровий;
- турбінний;
- тепловий;
- ультразвуковий;
- електромагнітний (індукційний)

- оптичний.

Об'ємний метод заснований на пропущенні через трубопровід контрольованого потоку рідини порціями певного обсягу. В якості датчика об'ємного витратоміра використовуються оборотні рідинні насоси - дискові, чашкові, лопатеві, гвинтові та ін.

Перевага об'ємного методу полягає в тому, що в'язкість рідини не впливає на роботу датчика, а недоліком - можливість закупорювання магістралі при заклинювання датчика.

Гідравлічний метод заснований на залежності перепаду тиску, що виникає на дроселюючому елементі, встановленому в трубопроводі, від витрати палива. В якості дросельний елементу використовується трубка Вентурі або діафрагма.

Метод постійного перепаду тисків заснований на зрівноважуванні ваги рухомої частини витратоміра гідравлічним тиском, що чиниться на цю систему потоком рідини. Залежно від конструкції рухомої частини, побудовані за цим методом витратоміри діляться, на ротаметричні. поршневі, дискові.

Недолік методу перешкоджає його застосуванню на літальних апаратах, існує вплив прискорень на рухому частину витратоміра.

Відцентровий метод заснований на залежності від витрати рідини відцентрової сили, що виникає при перебігу рідини по криволінійній траєкторії. Побудований за цим методом витратомір складається з зігнутої по кільцю труби, до якої підключений диференціальний манометр.

Турбінний (швидкісний) метод заснований на залежності швидкості обертання розташованої в трубопроводі ненавантаженої аксіальної або тангенціальної крильчатки (турбіни) від витрати рідини.

Перевагою методу є пропорційна залежність швидкості обертання крильчатки від витрати рідини. Мірою миттєвої витрати служить швидкість обертання, а мірою сумарної витрати за певний інтервал часу - загальне число оборотів, яке зробить крильчатка за цей час.

Тепловий метод заснований на залежності теплоти, що втрачається нагрітим тілом, від швидкості потоку рідини, оточуючої це тіло. Чутливим елементом витратоміра служить провідник, який нагрівається електричним струмом, температура якого залежить від швидкості потоку.

Ультразвуковий метод заснований на тому, що швидкість ультразвукових коливань, що поширюються в потоці рідини, щодо трубопроводу дорівнює векторній сумі швидкості ультразвуку щодо середовища і швидкості середовища щодо трубопроводу.

Вимірювання швидкості потоку може бути здійснено шляхом вимірювання різниці часу поширення ультразвукових коливань по потоку і проти нього за допомогою двох п'єзоелементів, розташованих один за одним в потоці рідини і є одночасно випромінювачами і приймачами ультразвуку.

Електромагнітний (індукційний метод) заснований на наведенні в електропровідній рідині електрорушійної сили при перебігу рідини по трубі, що перетинається зовнішнім магнітним полем.

Найбільшого поширення на ПС отримали турбінні чи інакше швидкісні витратоміри.

1.4. Напрямки застосування витратомірів

Таблиця 1.1 - Порівняння витратомірів різних типів

№	Тип витратоміра	Принцип вимірювання	Макс. тиск, бар	Температура, °C	Область застосування
1.	Ротаметри	Переміщення поплавка	16	до 120°C	Рідини та гази
2.	Турбінні	Обертання лопаток турбіни	4000	-273...+350°C	Паливо-мастильні матеріали (ПММ), рідке паливо, мазут, охолоджувальні рідини, вода, фармацевтичні, хімічні і криогенні рідини,

					рідкі гази.
3.	Роторні	Обертання ротора	100	до 100°C	Рідини та гази
4.	Шестерні витратоміри	Обертання шестерней	630	до 180°C	Гідравлічні мастила, мастильні речовини, фарби, лаки, PU- и PVC-компоненти, клей, абразивні рідини.
5.	Теплові	Вимірювання кількості теплоти	10	30...70°C	Технічне повітря, газ, водень, азот
6.	Мікровитратоміри	Обертання шестерней	100	до 180°C	Наповнювачі, фармацевтичні рідини, ароматизатори, рідкі харчові речовини, рідкі гази.
7.	Гвинтові	Обертання гвинта	400	до 150°C	Мастила, полімери, поліуретани, ущільнювальні речовини, ПВХ, клейкі речовини і ПММ, силікон, мазут.
8.	Калориметричні	Порівняння температури	400	до 150°C	Технічне повітря, O ₂ , N ₂ , CO ₂ , та інші гази. Вода та інші рідини.

Продовження Табл. 1.1

9.	Поршневі	Рух підпружиненої діафрагми	200	до 350°C	Можливе застосування з забрудненими рідинами. Рідини та газу.
10.	Лопатеві	Відхилення заслонки	25	до 120°C	Рідини та газу.

Витратоміри знаходять широке застосування у всіх галузях промисловості, де потрібно виміряти потік рідини або газу. Найпоширенішими галузями є:

- видобуток корисних копалин і додаткових продуктів (наприклад, попутний нафтовий газ - ПНГ);
- транспортування рідин і газів по магістральним або розподільним трубопроводам;
- дозування рідин або газів в технологічних процесах;
- циркуляція рідин і газів;
- технологічні вимірювання (наприклад, холодоагенту в системах охолодження та теплопостачання);
- промислові викиди і очищення.

В даний час головним споживачем витратомірів є нафтогазова галузь. У нафтогазовій галузі витратоміри застосовуються для обліку видобутку, транспортування, руху продукції на території переробних заводів і за їх межами і т.п.

Крім нафтогазової галузі можна виділити наступні ключові галузі-споживачі витратомірів:

- хімічна галузь;
- теплові, електричні і комбіновані станції;
- водопідготовка, водопостачання і водовідведення;
- харчова промисловість;
- фармацевтична промисловість;
- мікроелектронна промисловість;

- целюлозно-паперове виробництво;
- металургія;
- машинобудування;
- сільське господарство.

Найбільш універсальними з точки зору областей застосування є масові витратоміри, оскільки вони дозволяють вимірювати витрату практично будь-яких рідин, в тому числі в'язких. Разом з тим через високу вартість вони знаходять застосування в основному в нафтогазовій галузі.

Електромагнітні витратоміри є стандартом промислової автоматизації та використовуються в більшості процесів. Однак їх не можна використовувати на найбільшому ринку - ринку нафтопродуктів.

Ультразвукові витратоміри мають ряд особливостей і використовуються переважно спільно з газами і нев'язкими рідинами; вихрові витратоміри - практично виключно з газами.

1.5. Опис приладів для вимірювання витрати рідких речовин

1.5.1. Магнітно – індуктивні витратоміри

Принцип дії даних витратомірів заснований на вимірюванні пропорційної витрати електрорушійної сили, індукованої в потоці електропровідної речовини під дією зовнішнього магнітного поля (закон Фарадея).

Згідно з цим законом для будь-якого замкнутого контуру індукована електрорушійна сила (ЕРС) дорівнює швидкості зміни магнітного потоку, що проходить через цей контур. Зокрема, ЕРС, пропорційна швидкості руху провідника, активується у провіднику, що перетинає силові лінії магнітного поля. При цьому напрямок струму, що виникає в провіднику, перпендикулярно до напрямку руху провідника і напрямку магнітного поля. Замінивши гіпотетичний провідник потоком електропровідної речовини, що рухається між полюсами електромагніту, ми маємо можливість виміряти величину індукованого ЕРС, отже, і витрату речовини.



Рис. 1.2 – Магнітно-індуктивний витратомір

Магнітно-індуктивні витратоміри промислового виробництва складаються з блоку датчика витратоміра і електронного вимірювального блоку. Датчик витратоміра виконується у вигляді ділянки труби з приєднувальними фланцями для врізки в магістральний трубопровід.

Магнітно-індуктивні витратоміри можуть бути виконані як з постійними магнітами, так і з електромагнітами, що живляться змінним струмом. Монтажна труба витратоміра виготовляється з непровідного немагнітного матеріалу (в основному робиться вставка з фторопласту або поліетилену в трубу з нержавіючої сталі).

Основною перевагою витратомірів даного типу є те, що первинні перетворювачі не мають частин, що виступають всередину трубопроводу

(електроди встановлюються врівень зі стінкою трубопроводу), а також відсутні звуження і зміни профілю монтажної труби. Наслідком цього є мінімізація турбулентності і гідравлічних втрат, що позитивно позначається на точності вимірювання. На показання магнітно-індуктивних витратомірів не впливають фізико-хімічні властивості речовини (в'язкість, щільність, температура і т. П.), Якщо вони не впливають на його електропровідність. Застосування ізоляційних і антикорозійних покриттів, дозволяє вимірювати витрату агресивних і абразивних середовищ.

Істотним недоліком магнітно-індуктивних витратомірів з постійним електромагнітом, є поляризація чутливих електродів, що призводить до зміни опір перетворювача, що, в свою чергу, призводить до появи додаткових похибок вимірювання. Рішення даної проблеми полягає в застосуванні електродів зі спеціальних матеріалів або спеціальних покриттів для електродів. Даний тип витратомірів також чутливий до неоднорідностей потоку, турбулентності, нерівномірності розподілу швидкостей потоку в перерізі каналу.

Найбільш широке застосування магнітно-індуктивні витратоміри знайшли в обліку водних і енергетичних ресурсів (наприклад, в опалювальних системах).

Також витратоміри даного типу мають широке застосування в металургії, харчової промисловості, в будівництві, біохімії, виробництві збагачення руди, в медицині, так як вони мають малу інерційність в порівнянні з витратомірами інших типів.

1.5.2. Витратоміри Коріоліса

Витратоміри Коріоліса використовують для вимірювання масової витрати речовин ефект Коріоліса, який полягає в появі сил інерції при русі тіла в напрямку під кутом до осі обертання. Принцип дії даних витратомірів заснований на вимірюванні частоти коливань U-образних трубок, по яких рухається вимірювана речовина.

Витратомір Коріоліса складається з датчика витрати і перетворювача. Призначення датчика витрати - вимірювання частоти коливання трубок, і перетворювача, в свою чергу, - перетворення отриманої з датчика інформації у вихідний сигнал.

Речовина, що надходить на вхід витратоміра, ділиться на рівні половини і потім направляється в коливальні трубки, частота руху яких задається електромагнітними котушками, встановленими на трубках. Робота електромагнітів влаштована в такий спосіб, щоб забезпечити рух сенсорних трубок в протифазі.

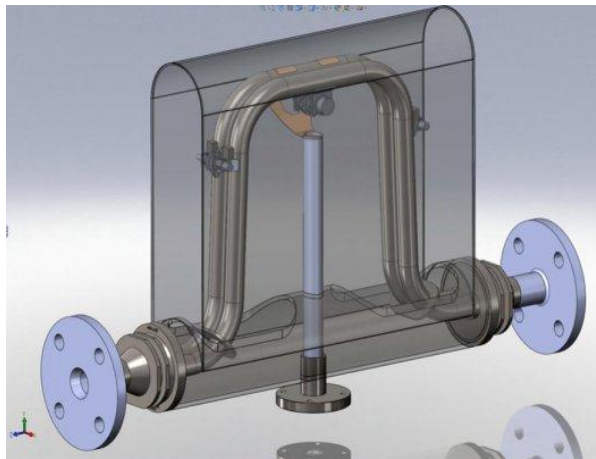


Рис 1.3 – Витратомір Коріоліса

Рух однієї трубки щодо іншої являє собою синусоїдальну хвилю, форма якої залежить від згенерованої напруги від кожної котушки детектора.

При відсутності витрати трубки рухаються з однаковою частотою, тому вихідний сигнал перетворювача дорівнює нулю. Коли ж починається рух речовини, в вимірювальних трубках виникає сила Коріоліса, напрямом якої протилежно руху трубки, даного їй електромагнітною котушкою. Зрушення фаз частоти коливань трубок пропорційний величині масової витрати вимірюваної речовини. Частота коливань трубок залежить від їх геометрії, матеріалу, конструкції і маси (маси самих трубок і маси вимірюваного середовища в трубках). Маса вимірюваного середовища в трубках рівна добутку щільності середовища і внутрішнього об'єму, а об'єм трубок є

постійним для конкретного типорозміру, отже, частота коливань трубок може бути прив'язана до щільності середовища і визначена шляхом вимірювання періоду коливань.

Перевагами витратомірів даного типу є широка номенклатура вимірюваних речовин (рідини, газу, суспензії з високою в'язкістю), висока точність вимірювань параметрів, незалежність від конфігурації трубопроводу, простота монтажу та налаштування. На роботу витратоміра не впливають такі фактори як вібрація трубопроводу, тиск робочого середовища. Вони надійні, мають тривалий термін служби і простоту обслуговування завдяки відсутності рухомих і зношуваних частин.

Зазвичай Витратомір Коріоліса знаходить використання для речовин при середніх і великих діапазонах витрати, проте новітні розробки змінюють цю думку. Ефект Коріоліса тепер з успіхом застосовується для прямого виміру малих і надмалих витрат. Витратоміри Коріоліса - це практичне, універсальне і економічне рішення для підприємств в хімічній, фармацевтичній і нафтогазовій промисловості, а також для виробництва харчових продуктів.

1.5.3. Ультразвукові витратоміри

Робота ультразвукових витратомірів заснована на властивості ультразвукових хвиль змінювати швидкість поширення в потоці рухомої речовини.



Рис. 1.4 – Ультразвукові витратоміри

Витратоміри промислового виготовлення використовують три ідеології вимірювання витрати речовини: вимірювання тимчасової затримки поширення ультразвукового сигналу в рухомій речовині (кореляційний метод), вимірювання зміни частоти ультразвукового сигналу, відбитого від рухомих частинок, засноване на використанні ефекту Допплера (метод Допплера) і метод фазового зсуву.

Кореляційний метод заснований на вимірюванні тимчасової затримки поширення ультразвукового сигналу в потоці речовини. Величина затримки залежить від напрямку і швидкості руху потоку. Конструктивно витратоміри подібного типу представляють собою два датчика - приймача і випромінювача сигналу, встановлених на протилежних стінках трубопроводу з деяким зміщенням. Ультразвукова хвиля прямує спочатку в напрямку руху потоку речовини, а потім в протилежному напрямку з почерговою фіксацією швидкості поширення сигналу. Провівши вимір тимчасової затримки проходження сигналів, можна визначити швидкість руху речовини, отже, знаючи внутрішній перетин трубопроводу, обчислити витрату.

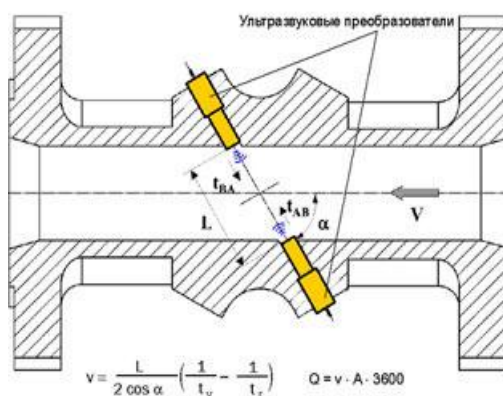
Другий метод заснований на ефекті Допплера - зміни частоти і довжини хвиль, викликані рухом джерела і / або рухом приймача хвиль.

Сигнал певної частоти посиляють в напрямку руху потоку речовини. Він відбивається від рухомих в потоці частинок і змінює свою частоту пропорційно середньої швидкості потоку речовини. Приймач сигналу визначає частоту хвилі, пройденої через речовину. Далі на підставі розрахункового алгоритму визначається різниця частот вихідного сигналу (сигналу передавача) і отриманої частоти відбитого сигналу. Величина різниці необхідна для обчислення швидкості руху потоку і, отже, для визначення витрати.

Метод фазового зсуву за принципом функціонування подібний кореляційному методу. Відмінність полягає в іншому розташуванні приймача і випромінювача ультразвукового сигналу. В даних лічильниках приймально-передавальні датчики встановлені на початку і кінці

трубопроводу, по якому рухається потік вимірюваної речовини. Ультразвукова хвиля рухається уздовж трубопроводу спочатку в напрямку потоку, а потім в протилежному. Різниця швидкості проходження застосовується для обчислення витрат.

Рис. 1.5 – Схема витратоміра



ультразвукового

Ультразвукові витратоміри можуть бути як одно- так і багатоканальними. Для досягнення максимально точних результатів вимірювання може використовуватися кілька пар випромінювачів і приймачів ультразвукових хвиль (багатоканальні системи). Результатом вимірювання одночастотних багатоканальних витратомірів є середньоарифметичне значення показань кожної пари датчиків, що зменшує похибки вимірювань і вплив зовнішніх факторів. Багаточастотні багатоканальні лічильники для кожної пари датчиків застосовують різні довжини ультразвукових хвиль, що дає можливість порівнювати значення вимірювань в широкому діапазоні частот.

Одним з найважливіших переваг ультразвукових витратомірів є неруйнівний метод контролю, оскільки для визначення витрати не потрібно врізка в трубопровід. Отже, для впровадження їх у виробництво немає необхідності зупинки технологічних процесів, перекриття вентилів, зняття навантаження і т.п.

Також застосування даних лічильників дає додаткові переваги: широкий діапазон виміру швидкості і витрати речовини, великий вибір типорозмірів трубопроводу, висока точність вимірювання, відсутність

рухомих частин, простота монтажу, налагодження та супроводу, відсутність турбулентності потоку.

Ультразвукові витратоміри придатні для вимірювання як рідких, так і газоподібних речовин. Для функціонування витратомірів Допплера обов'язковою умовою є наявність частинок в потоці, від яких буде відображатися сигнал, тому лічильники цього типу ідеально підходять для вимірювання витрати забруднених рідин і пульпи (наприклад, в сфері промислового очищення води, стічних вод). Також дані витратоміри знайшли широке застосування у вирішенні завдань точного дозування речовин (харчова промисловість, фармацевтика, хімічне виробництво). Існує величезна кількість модифікацій витратомірів для нафтохімічної промисловості, а також газовидобутку. Висока точність вимірювань, а також можливість вимірювання витрати без руйнування трубопроводу і калібрування лічильника дозволили ультразвуковим витратомірам міцно зайняти лідируючі позиції на ринку вимірювань.

1.5.4. Вихрові витратоміри

Принцип дії витратомірів даного типу заснований на вимірюванні частоти коливань вихорів, що виникають в потоці (ефект Кармана). Дане явище полягає в тому, що тіло обтікання, поміщене в потік речовини, створює за собою вихрові доріжки (доріжки Кармана), які створюють неоднорідність тиску в потоці вимірюваної речовини. Довжина хвилі збурення (відстань між гребенями вихорів) є величиною постійною і підлягає вимірюванню.

У витратомірах даного типу для утворення вихрового потоку на шляху рухомої речовини встановлюється обтічне, трапецієподібне в перерізі, тіло. Частота створюваних за ним вихорів пропорційна швидкості потоку речовини. За тілом обтікання розташовуються попарно датчики швидкості, які фіксують частоту проходження вихорів. Датчик швидкості являє собою

п'єзоелектричний елемент на який діє деформуюча сила утворених вихорів. Величина цієї сили, пропорційна частоті пульсації вихорів, перетворюється у вихідний електричний сигнал, за яким і визначається витрата речовини. Попарне розташування датчиків дає можливість збільшити точність сигналу і звести до мінімуму вібраційні і акустичні перешкоди. Це досягається завдяки відніманню одного сигналу з іншого, а результуюча величина відкидається як величина перешкоди.

До переваг вихрових витратомірів можна віднести відсутність рухомих частин всередині трубопроводу, що дає можливість збільшити довговічність і точність вимірювання, низьку нелінійність в широкому діапазоні вимірювань.

Одним з найбільш проблемних моментів функціонування вихрових витратомірів є складність фізичних процесів, що виникають за тілом обтікання. Зміна таких фізичних параметрів речовини як тиску і температури істотно ускладнюють математичний опис середовища вимірювання, що робить виробництво якісних інформаційних перетворювачів досить складним завданням. Саме тому промислове застосування даних витратомірів почалося порівняно недавно, хоча принципи роботи були відомі ще в 50-і роки минулого століття. В даний час рішення цієї проблеми полягає в застосуванні складних програмно-апаратних мікропроцесорних систем.

Вихрові витратоміри здатні вимірювати витрату будь-яких рідких і газоподібних речовин. Єдиним обмеженням для застосування є щільність середовища, тому що в потоці густої речовини практично не відбувається утворення вихорів. Найбільш широке застосування дані витратоміри знайшли в вимірі перегрітої і насиченої пари; стисненого повітря і технічних газів (наприклад, вуглекислого газу); технологічних рідин, води; природного газу; небезпечних газів, різноманітних теплоносіїв. Також досить часто вони знаходять застосування в харчовій промисловості, нафтогазовому виробництві та ін.

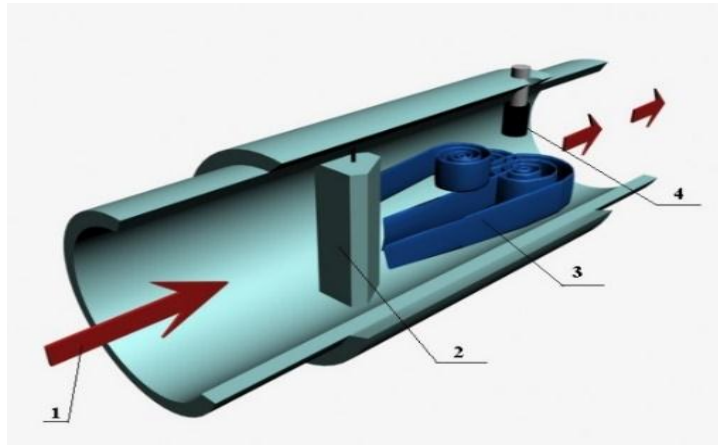


Рис. 1.6 – Вихровий витратомір

1.5.5. Оптичні витратоміри

Істотний імпульс розвитку витратоміри даного типу отримали після створення потужних лазерів, тому часто їх називають лазерними.

На даний момент популярність мають дві основні ідеології роботи оптичних витратомірів, що відрізняються фізичними явищами, що визначають принципи їх роботи:

- витратоміри, робота яких заснована на ефекті Допплера
- витратоміри, робота яких заснована на ефекті Фізо-Френеля

Функціонування оптичних витратомірів Допплера в своїй суті аналогічно роботі ультразвукових витратомірів, тому що в основі лежить ефект Допплера, який полягає у вимірюванні різниці частот, що виникає при відображенні частинками потоку світлового променя. Випромінювач і приймач оптичного сигналу жорстко кріпляться на протилежних сторонах трубопроводу. Випромінений джерелом світловий потік відбивається від частинок вимірюваної речовини. Приймач на вході отримує різницевий спектр частот відбитих сигналів. На основі отриманих даних і проводиться розрахунок витрати речовини. Зустрічаються схеми витратомірів, в яких вимірювання проводиться на порівнянні двох оптичних сигналів - опорного і розсіяного неоднорідностями досліджуваної речовини.

Принцип роботи витратомірів, заснованих на ефекті Фізо-Френеля, полягає в вимірі змін таких параметрів сигналу як зрушення інтерференційних смуг або зсув частоти коливань величини світлового потоку. Саме ці оптичні характеристики безпосередньо залежать від швидкості руху речовини. Отже, знаючи перетин трубопроводу і швидкість руху, можна визначити витрату речовини.

Переваги оптичних витратомірів полягають у високій точності вимірювань, великим швидкісним діапазоном. Вони стабільно працюють з агресивними середовищами, а також в умовах критичних температур.

Оптичні витратоміри придатні для вимірювання витрати як рідких речовин, так і газоподібних.

На даний момент витратоміри даного типу знаходять застосування в експериментальній гідродинаміці, особливо в області турбулентних явищ, вивчення яких традиційними способами не дає бажаних результатів через недостатню точності приладів і, головне, через внесення ними спотворень в досліджувану структуру потоку.

Також оптичні витратоміри застосовуються для оптично прозорих рідин, до яких відносяться вода, гас, бензин, спирт, розчини сірчаної, азотної кислот і газів. Єдиним обмеженням для застосування лазерних витратомірів може служити діаметр трубопроводу. У практиці переважно знаходять застосування трубопроводи малого діаметра.

1.5.6. Міточні витратоміри

Принцип роботи міточних витратомірів заснований на вимірюванні часу переміщення будь-якої мітки потоком речовини. Контрольний замір проводиться від джерела введення до первинного перетворювача, встановленого в трубопроводі у напрямку руху потоку. Визначивши швидкість переміщення мітки, обчислюється швидкість потоку, а, отже, і об'ємна витрата речовини. Існують різноманітні типи міток: радіоактивні,

теплові, електромагнітні, фізико-хімічні, іонізаційні, оптичні, ядерно-магнітно. Як правило, мітки в потоці створюються штучним способом. Залежно від типу мітки проводиться підбір пристрою для її створення і перетворення у вихідний сигнал. Зазвичай створення мітки відбувається в самому потоці речовини, однак для таких методів як радіоактивний, фізико-хімічний або оптичний мітки створюються введенням в потік сторонньої речовини-індикатора. Завдяки високій частоті створення міток визначення витрати речовини носить безперервний характер.

Міточні витратоміри бувають одно- і двохдетекторні. У першому випадку час переміщення вважається від джерела введення мітки до детектора, в іншому - визначається між першим і другим детектором.

Вибір зони залежить від необхідної точності вимірювання і швидкодії, тому що різні типи міток характеризуються різними значеннями фізичних параметрів - тривалістю існування і інформаційною ефективністю. Так, теплові мітки швидко знищуються через віддачу теплової енергії навколишнього простору, а іонні - через розпад іонної структури. Тому, детекторна відстань повинна бути мінімальною. Однак слід врахувати, що зі збільшенням детекторної відстані збільшується точність вимірювання, а швидкодія зменшується.

Міточні витратоміри придатні для вимірювання витрати як рідин (в тому числі діелектричних рідин), так і газів (навіть для іонізованих газів).

Зазвичай міточні витратоміри знаходять застосування при проведенні лабораторних і дослідницьких робіт, зокрема при градуюванні і повірці інших витратомірів. Успішно застосовуються дані витратоміри для контролю стану діафрагм газових трубопроводів значної довжини. Фізико-хімічні мітки знайшли застосування в обліку водних ресурсів та системах водяного постачання.

Застосування даних витратомірів можливо для рідин з великим гіромагнітним відношенням (для труб, 100-150 мм в перерізі).

Іонізаційні витратоміри застосовують в основному для вимірювання витрати або швидкості газу, в якому мітки створюються шляхом періодичної або, рідше, безперервної його іонізації. Мітки створюються або іонізуючим випромінюванням, зазвичай за допомогою радіоактивного ізотопу, або ж електричним розрядом.

1.5.7. Турбінні витратоміри

Принцип роботи турбінних витратомірів заснований на вимірюванні частоти обертання турбіни, вміщеній в потік вимірюваної речовини, що протікає по трубопроводу. У свою чергу, частота обертання перетворюється в частотний електричний сигнал, пропорційний об'ємній витраті речовини (рис.1.7).

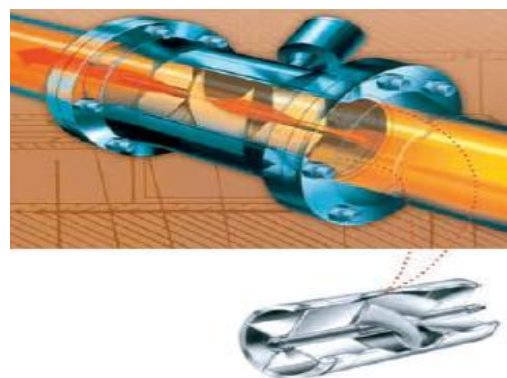
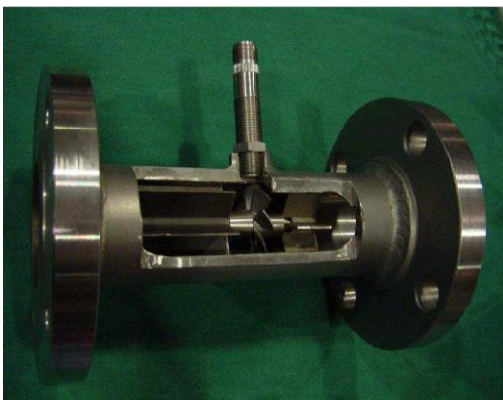


Рис. 1.7 – Турбінні витратоміри

Конструктивно первинний перетворювач являє собою котушку індуктивності, через яку проходить електричний струм. Лопаті турбіни, виготовленої переважно з феромагнітного матеріалу, перетинають лінії магнітного поля котушки, що в свою чергу, призводить до утворення пульсацій струму. Частота пульсуючого струму пропорційна кутовій швидкості обертання турбіни, а значить, і витраті речовини.

Основними перевагами турбінних витратомірів є простота конструкції, а також висока чутливість і точність вимірювань. До недоліків даних лічильників можна віднести вплив на точність показань таких параметрів як в'язкість речовини, знос опор, процеси утворення вихорів. Внаслідок чого дані лічильники не придатні для підрахунку витрати забруднених або абразивних речовин, а також рідин, що змінюють свої характеристики в'язкості.

Однак вплив процесів утворення вихорів можливо мінімізувати установкою спеціальних напрямних, що в свою чергу дає можливість зменшити розміри прямолінійних ділянок трубопроводу.

Витратоміри даного типу добре зарекомендували себе в різних областях промисловості і господарства, так як вони придатні для вимірювання витрати як рідин, так і газів. Вихрові витратоміри знайшли широке застосування в нафтогазовій промисловості, а також в системах телеметричної аварійної сигналізації трубопроводів. Також дані лічильники використовуються в системах подачі води і водовідведення.

1.5.8. Витратоміри витіснювального типу

Принцип роботи витратомірів витіснювального типу заснований на підрахунку розбитого на частини потоку речовини. Конструктивно витратоміри даного типу являють собою пару овальних шестерень (роторів), призначення яких полягає в поділі потоку, що рухається (рис.111). Частина речовини (заздалегідь відомого обсягу) обертовим рухом овальної шестерні повертається назад в потік. Отже, для визначення витрати потрібно підрахувати кількість частин в одиницю часу.



Рис. 1.8 – Витратоміри витіснювального типу

В силу своїх конструктивних особливостей, витратоміри даного типу мають ряд переваг. Наявність великого вибору типорозмірів дозволяють використовувати їх в рішенні самих різних завдань вимірювання.

Завдяки широкій номенклатурі реєстраторів, імпульсних генераторів, приймачів кінцевий користувач має можливість вибрати найбільш ефективну конфігурацію для вирішення поставлених завдань. Наявність сучасних комунікаційних платформ дозволяє налаштувати самодіагностику системи вимірювання, а також забезпечити якісне калібрування.

Завдяки своїм особливостям витратоміри витіснювального типу мають дуже широкий спектр застосування. Вони успішно застосовуються в таких сферах як нафтогазова промисловість, харчова і хімічна промисловість. Витратоміри даного типу дозволяють проводити вимірювання витрати рідини з низькою швидкістю потоку без застосування звужувальних каналів.

Застосування різних матеріалів при виготовленні корпусу і рухомих частин дозволяє застосовувати дані лічильники для вимірювання агресивних і перегрітих середовищ, а також в'язких рідин.

1.5.9. Витратоміри з різницею тиску

Принцип роботи витратомірів з різницею тиску заснований на залежності перепаду тиску від швидкості потоку речовини. Найпростіший витратомір даного типу являє собою звуження потоку, встановлене в трубопроводі, на виході якого встановлено датчик тиску (манометр), завдання якого вимірювати різницю тиску. Ця різниця тим більше, чим вище швидкість потоку, а отже - більше витрата. Тому, перепад тиску на пристрої звуження потоку буде мірою витрати речовини, що протікає через трубопровід.

Витратоміри змінного перепаду тиску підрозділяються на шість самостійних груп в залежності від пристрою і принципу дії їх перетворювачів витрати.

1. Витратоміри з звужувальним пристроєм, засновані на залежності від витрати перепаду тиску, що утворюється в звуження потоку, в результаті перетворення частини потенційної енергії потоку в кінетичну.

2. Витратоміри з гідравлічним опором, засновані на залежності від витрати перепаду тиску, що утворюється на гідравлічному опорі.

3. Відцентрові витратоміри, засновані на залежності від витрати перепаду тиску, що утворюється на заокругленні трубопроводу в результаті дії відцентрової сили в потоці.

4. Витратоміри з напірним пристроєм, засновані на залежності перепаду тиску, створюваного напірним пристроєм в результаті місцевого переходу кінетичної енергії струменя в потенційну.

5. Витратоміри з напірним підсилювачем, засновані на залежності від витрати перепаду тиску, створюваного напірним підсилювачем як в

результаті переходу кінетичної енергії струменя в потенційну, так і в результаті часткового переходу потенційної енергії в кінетичну.

6. Струменеві витратоміри, засновані на залежності від витрати перепаду тиску, що утворюється при ударі струменя.

Найбільшу популярність отримали витратоміри з пристроями звуження потоку. Вони вимірюють швидкість потоку речовини, яка збільшується при проходженні через звуження потоку, встановлене в трубопроводі.

Звужувальні пристрої можуть представляти собою такі елементи: труба Вентурі, довге сопло Вентурі, коротке сопло Вентурі, сопло, діафрагма. Вибір пристрою залежить від характеру речовини і діаметра трубопроводу. Діафрагми займають перше місце серед звуження потоку за вартістю, простоті виготовлення та монтажу.

Витратоміри даного типу мають наступні дві дуже важливі переваги.

1. Універсальність застосування. Вони придатні для вимірювання витрати будь-яких однофазних середовищ, а певною мірою і двофазних. Крім того, вони придатні для вимірювання витрат самої різної величини в трубах, практично, будь-якого діаметру і, практично, при будь-якому тиску і температурі.

2. Зручність масового виробництва. Індивідуально виготовляється тільки перетворювач витрати - звуження потоку. Цей пристрій не залежить ні від роду вимірюваного середовища, ні від величини витрати.

Однак різницеві витратоміри мають і низку недоліків. Так, дані лічильники не рекомендується застосовувати, якщо не забезпечена завантаження трубопроводу більше 30%, тому що квадратична залежність між величиною витрат і перепаду тиску в даному випадку призводить до високої похибки вимірювання. Також на показання істотний вплив роблять такі параметри як тиск і температура речовини.

Витратоміри з різницею тиску мають універсальний характер, так як можуть вимірювати витрату як рідин так і газів.

Широке застосування витратоміри даного типу отримали в газодобувній промисловості. В силу своїх конструктивних особливостей і невибагливості вимірювального обладнання витратоміри з різницею тиску використовуються для вимірювання забруднених рідин в системах водовідведення та гірничорудної промисловості.

1.5.10. Витратоміри обтікання

Витратоміри обтікання, або витратоміри постійного перепаду тиску, засновані на залежності від витрати речовини вертикального переміщення тіла (поплавка), що змінює при цьому площу прохідного отвору приладу таким чином, що різниця тисків на поплавки залишається постійною.

З витратомірів обтікання найбільшого поширення набули ротаметри, принцип дії яких заснований на сприйнятті поплавком, що переміщається в ротаметричній трубці, динамічного напору рідини або газу, що проходить від низу до верху. Завдяки цьому кожній величині витрати при певній щільності і кінематичній в'язкості середовища відповідає строго певне положення поплавка.

Ротаметри випускаються для місцевого вимірювання витрати без дистанційної передачі показань, з електричною дистанційною передачею показань без місцевої шкали, з пневматичною дистанційною передачею та місцевою шкалою показань.

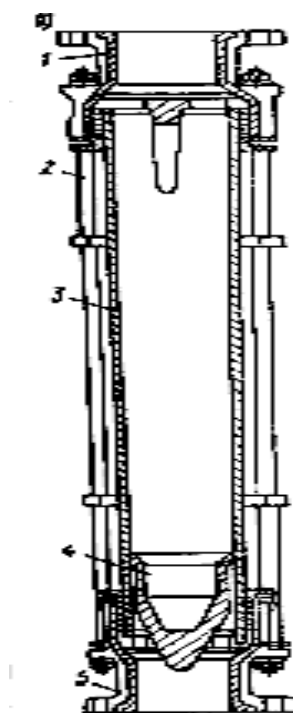


Рис. 1.9 – Витратоміри обтікання

Ротаметр для місцевого вимірювання витрати (Рис. 1.9) являє собою конічну трубку зі скла 6 закріплену в металевих голівках 1 і 5. Головки стягнуті шпильками 2, що утворюють захисну решітку навколо скла. У трубці 3 вільно переміщається поплавець 4. Значення витрати відраховується за положенням верхньої кромки поплавка щодо шкали. Ротаметр може працювати тільки в вертикальному потоці.

Ротаметри виконуються зі скляною або металевою трубкою. Ротаметри зі скляною трубкою виготовляються на тиску рідини або газу, що не перевищують 0.58 МН/м^2 . При більш високому тиску рідини або газу, а також для вимірювання витрати пару застосовуються ротаметри з металевою трубкою.

Розглянуті ротаметри мають недоліки: неможливо реєструвати їх показання і передавати на відстань; шкали приладів недостатньо чіткі. Ротаметри з металевою трубкою з електричною та пневматичною передачею на відстань не відрізняються від описаних вимірювальних пристроїв .

Ротаметри типу РС-3а і РМ можуть працювати при температурі вимірюваного середовища $5-50^{\circ}\text{C}$ і температурі навколишнього повітря $5-500^{\circ}\text{C}$. У ротаметрів типу РМ в залежності від межі вимірювання поплавки

виготовляється зі сталі Х18Н9Т, анодованого дюралюмінію, ебоніту або титану. У ротаметрів типу РСС, призначених для вимірювання витрати агресивних середовищ, матеріал деталей, які взаємодіють з вимірюваним середовищем, - фторопласт 4 і хіміко-лабораторне скло.

До основних переваг ротаметрів можна віднести простоту конструкції, можливість вимірювання малих витрат, значний діапазон виміру, можливість вимірювання витрати агресивних середовищ. Величина витрати напору від установки ротаметра не перевищує 0.1 кгс/см^2 для рідин і 0.05 кгс / см^2 для газів. Недоліками ротаметрів є велика чутливість до температурної зміни в'язкості, необхідність градування для вимірюваного середовища або корекції показань, неможливість вимірювання витрати забруднених рідин.

1.5.11. Теплові витратоміри

Принцип роботи теплових витратомірів заснований на залежності витрати речовини від теплового впливу на потік. Існує кілька класифікацій теплових витратомірів. Вони розрізняються за способом нагріву, розташуванню нагрівача, функціональною залежністю між витратою і вимірюваним сигналом.

За характером теплової передачі витратоміри діляться на калориметричні, термоконвективні і термоанемометричні. Залежно від способу нагрівання теплові витратоміри поділяють на прилади з нагріванням електричним, індукційним і рідинним теплоносієм.

Робота калориметричних витратомірів заснована на визначенні підвищення температури потоку речовини - два термодатчика вимірюють температуру потоку до і після нагрівача, встановленого всередині трубопроводу. Виміряна різниця температур дозволяє визначити швидкість потоку, а отже, і витрату речовини.

Термоанемометри - прилади, робота яких заснована на залежності між кількістю теплоти, що втрачається нагрітим тілом, і швидкістю потоку, в

якому це тіло знаходиться. Це досягається завдяки визначенню зміни електричного опору термоперетворювача, встановленого в потоці досліджуваного речовини.

Термоконвективні витратоміри представляють собою вимірювальні пристрої, в яких нагрівальний елемент і термодатчик розташовані на зовнішній стороні трубопроводу, що істотно підвищує експлуатаційну надійність всього пристрою. В даних лічильниках вимір теплового потоку виробляється через стінку труби і далі через прикордонний шар. На підставі отриманих результатів відбувається визначення швидкісних характеристик досліджуваного потоку речовини, а потім і рівня витрат. Термоконвективні витратоміри бувають двох типів: квазікалориметричні (проводиться вимірювання різниці температури потоку) і теплового прилягаючого шару (проводиться вимірювання різниці температур прилягаючого шару). Дані лічильники в основному застосовуються для вимірювання витрати в трубопроводах невеликого діаметру. Якщо ж необхідно провести вимірювання в трубопроводі великого діаметра застосовують парціальні з нагрівачем на обвідній трубі.

Теплові витратоміри мають як переваги так і деякі недоліки. До переваг можна віднести незмінність теплоємності вимірюваної речовини при визначенні масової витрати. До недоліків можна віднести те, що витратоміри даного типу мають високу інерційність. Для усунення даного недоліку застосовують коригувальні схеми, а також імпульсний нагрів.

У промисловому використанні найбільшого поширення набули термоконвективні витратоміри, тому що їх головною перевагою є зовнішнє розташування вимірювальних елементів. Найчастіше їх застосовують для вимірювання витрати газу і рідше для вимірювання витрати рідини.

Калориметричні і термоанемометричні витратоміри застосовують в основному для наукових, дослідницьких і експериментальних робіт, причому переважно для вимірювання швидкостей та витрат газових потоків.

\

1.6. Висновки до розділу

Витратоміри знаходять широке застосування у всіх галузях промисловості, де потрібно виміряти потік рідини або газу. Найпоширенішими галузями є:

- видобуток корисних копалин і додаткових продуктів (наприклад, попутний нафтовий газ - ПНГ);
- транспортування рідин і газів по магістральним або розподільним трубопроводам;
- дозування рідин або газів в технологічних процесах;
- циркуляція рідин і газів;
- технологічні вимірювання (наприклад, холодоагенту в системах охолодження та теплопостачання);
- промислові викиди і очищення.

В даний час головним споживачем витратомірів є нафтогазова галузь. У нафтогазовій галузі витратоміри застосовуються для обліку видобутку, транспортування, руху продукції на території переробних заводів і за їх межами і т.п.

Крім нафтогазової галузі можна виділити наступні ключові галузі-споживачі витратомірів:

- хімічна галузь;
- теплові, електричні і комбіновані станції;
- водопідготовка, водопостачання і водовідведення;
- харчова промисловість;

- фармацевтична промисловість;
- мікроелектронна промисловість;
- целюлозно-паперове виробництво;
- металургія;
- машинобудування;
- сільське господарство.

Існує ряд методів вимірювання витрати палива. До найбільш поширених, які мають поширення в авіації можна віднести:

- об'ємний;
- гідродинамічний (змінного перепаду тиску);
- метод постійного перепаду тисків;
- відцентровий;
- турбінний;
- тепловий;
- ультразвуковий;
- електромагнітний (індукційний)
 - оптичний.

РОЗДІЛ 2

ОПТИЧНІ ВИТРАТОМІРИ

2.1. Різновиди оптичних витратомірів

Оптичні (лазерні) витратоміри — витратоміри, робота яких базується на використанні залежності оптичних ефектів від швидкості руху рідини чи газу. Існують такі різновиди цих приладів:

- доплерівські витратоміри (принцип їх роботи заснований на вимірюванні різниці частот, що з'являється при відображенні світлового променя рухомими частинками потоку);
- витратоміри, засновані на ефекті Фізо-Френеля (в них вимірюється зрушення інтерференційних смуг або частоти світлових коливань, пов'язаний із залежністю швидкості світла в рухомому прозорому середовищі від його швидкості);
- особливі оптичні витратоміри;
- кореляційні оптичні витратоміри;
- витратоміри, засновані на вимірі часу переміщення на певній ділянці шляху оптичної мітки, введенної в потік.

Оптичні витратоміри часто називають лазерними, так як розвиток їх основних різновидів стало можливим після створення потужних оптичних квантових генераторів (ОКГ), які частіше називають лазерами.

Доплерівські оптичні витратоміри є основними серед розглянутих оптичних приладів.

В основному вони застосовуються для вимірювання місцевих швидкостей рідини і газу.

Кафедра авіоніки				НАУ 19 15 17 000 ПЗ			
Виконав	Поляк С. В.			Оптичні витратоміри	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Землянський В.М					41	60
Консульт.	Землянський В.М				6.051103 «Авіоніка»		
Н-контр.	Левківський В.В						
Зав. каф.	Павлова С.В.						

Для вимірювання витрати вони застосовуються рідше, на відміну від приладів, заснованих на принципі Фізо-Френеля, які призначені тільки для вимірювання витрати. Оптичні витратоміри зазвичай застосовують в трубах невеликого діаметра.

2.2. Допплерівські витратоміри

Принцип дії витратомірів даного типу заснований на вимірюванні різниці частот, що виникають при відображенні світлового або звукового променя рухомими частинками потоку.

Світло відбивається (або розсіюється) від великого числа природних або штучних неоднорідностей вимірюваної речовини. Внаслідок чого на приймач буде надходити сигнал, що містить випадкові складові спектра, так як характер складання амплітуд і фаз елементарних відображень випадковий. Хоча потужність сигналу не велика, але цього досить для вимірювання доплерівського зсуву.

Схеми оптичних пристроїв у анемометрів і витратомірів Допплера можуть бути різні. Найчастіше джерело випромінювання і фотоприйомний пристрій розташовуються на протилежних сторонах труби, незважаючи на те, що при цьому потрібна дуже жорстка опорна конструкція, що забезпечує незмінність положення оптичної системи. При необхідності всю систему можна розташувати з одного боку, але в цьому випадку будуть потрібні більш потужні джерела випромінювання і більш чутлива вимірювальна схема, так як на фотоприймач надходять відбиті промені, спрямовані в бік, протилежний руху потоку, інтенсивність яких в сотні і тисячі разів менше променів, що відображаються у напрямку потоку.

Вимірювання доплерівського зсуву частоти при звичайних швидкостях засноване на вимірюванні частоти биття двох когерентних оптичних сигналів, з яких один опорний, а інший розсіюється неоднорідностями рухомої речовини.

Пристрій доплерівських оптичних швидкісних витратомірів.

Схема Ієха і Каммінгса:

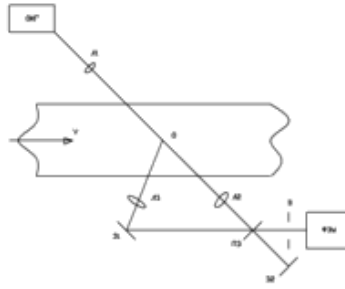


Рис. 2.1 - Схема Ієха і Каммінгса

Принцип дії цієї схеми заснований на тому, що промінь, утворений оптичним квантовим генератором ОКГ і сфокусований в точці О лінзою L_1 , відображає частину своєї енергії, яка збирається лінзою L_3 і направляється дзеркалом Z_1 через діафрагму D на фотокатод фотоелектронного помножувача ФЕП. Але дана схема має істотний недолік, що полягає у труднощі регулювання положення робочої точки О.

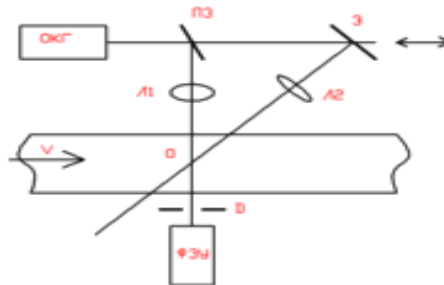


Рис. 2.2

Дана схема позбавлена нестачі попередньої, так як поділ променя відбувається до входу в потік, завдяки чому можна легко міняти положення робочої точки. Принцип дії: промінь після виходу з ОКГ падає на напівпрозоре дзеркало P_3 і частково відбивається ним, утворюючи опорний промінь, що проходить через лінзу L_1 , потім через рідину (перпендикулярно її руху без доплерівського ефекту) і через діафрагму D надходить на фотокатод ФЕП. З ОКГ йде інша частина променя, яка проходить через дзеркало P_3 , фокусується лінзою L_2 в робочій точці О (частково розсіюючись) і утворює робочий промінь, що проходить через діафрагму D, і

надходить на фотокатод ФЕП. Положення робочої точки регулюється пересуванням дзеркала 3. Вимірювання витрати за допомогою ефекту Доплера.

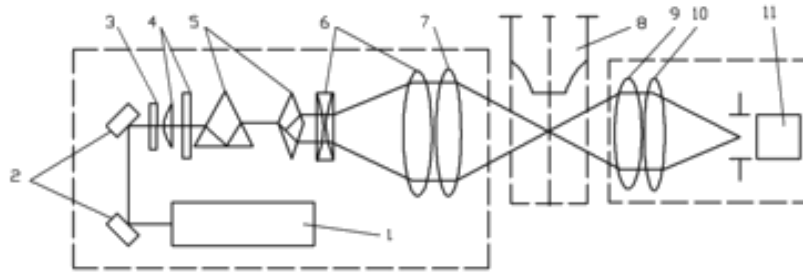


Рис. 2.3 Схема доплерівського витратоміра ЛДВ-100:

(1 - лазер; 2 - поворотні дзеркала; 3 - напівхвильова фазова пластинка; 4 - коліматор; 5 - призми; 6 - розширювач пучка; 7 - вихідний об'єктив; 8 - сопло Вітошинського; 9, 10 - об'єктиви приймального блоку; 11 - фотоприймач)

Для вимірювання витрати оптичними засобами за допомогою ефекту Доплера застосовують два методи:

1. Цей метод полягає у вимірюванні за допомогою лазерного доплерівського анемометра середньої швидкості потоку і множенні результату вимірювання на площу потоку;
2. Застосування лазерного доплерівського витратоміра особливої конструкції.

При першому методі вимірюється місцева швидкість (при відомому її співвідношенні з середньою швидкістю). Швидкість вимірюють у центрі труби або на відстані $0,758r$ (де r - внутрішній радіус труби) від осі труби. У другому випадку вимірюється безпосередньо середня швидкість, але тут потрібна велика довжина прямої ділянки труби, ніж при вимірюванні швидкості в центрі. Також утрудняє вимір середньої частоти доплерівського сигналу через велику градієнта швидкості в даній точці, який призводить до небажаного розширення спектра цього сигналу.

Точка в центрі труби не має даного недоліку. Але для вимірювання швидкості в даній точці необхідно знати коефіцієнт гідравлічного тертя труби. Вимоги, які необхідно дотримуватися при вимірюванні швидкості в одній точці, а також похибки площі перетину трубопроводу наведені в п. 5.3 ГОСТу 8.361-79.

Для зниження похибки вимірювання середньої швидкості і похибки вимірювання площі потоку в трубі встановлюють звуження потоку типу сопла Вітошинського, яке формує рівномірне поле швидкостей. При цьому може бути отримана висока точність вимірювання витрати, близька до точності зразкових витратомірних установок.

При другому методі необхідні пристрої, що дозволяють або одночасно вимірювати доплерівський зсув частот в декількох точках, розташованих на різних відстанях від осі труби, або ж робити цю операцію послідовно, наприклад за допомогою двигуна, який з постійною швидкістю пересуває фокусну лінзу і, отже, переміщує робочу точку. На малюнку 3 показана схема приладу, що вимірює доплерівський зсув частот в декількох точках. На напівпрозоре дзеркало 2 падає світловий промінь від лазера 1. Частина променя, відбита від дзеркала, направляється безпосередньо в потік 5, а інша частина надходить на дзеркало 3 і потім на розщеплювач 4, з якого виходить у вигляді ряду пучків. Ці пучки інтерферують з прямим пучком в окремих точках потоку. Проходячи через лінзу 6 і діафрагму 7, вони надходять на протяжний фотоприймач 8. Для отримання вимірювальної інформації застосовується багатоканальний швидкодіючий аналізатор спектру або багатопроменевий доплерівський вимірювач з частотним зсувом пучків, в якому здійснюється як просторове, так і частотне розділення світлових пучків за допомогою обертової дифракційної решітки .

2.3. Витратоміри, що базуються на основі ефекту Фізо-Френеля

Швидкість світла в речовині, що рухається зі швидкістю V , залежить від величини і напрямки цієї швидкості. Швидкість визначається рівнянням, яке теоретично вивів Френель, а експериментально підтвердив Фізо:

$$c_n = c/n \pm v (n^2 - 1) n^{-2}$$

де C_n - швидкість світла в нерухомій прозорій речовині; V - швидкість руху речовини; n - коефіцієнт заломлення речовини.

Принцип дії витратомірів, заснованих на ефекті Фізо-Френеля, наступний: для вимірювання швидкості V на певній ділянці шляху довжиною l створюється замкнутий контур довжиною L , по якому світло циркулює в протилежних напрямках (світло треба пропускати по потоку і проти нього і вимірювати різницю часів проходження світлом даної ділянки шляху). Вимірювана речовина рухається лише на частині цього контуру довжиною L . Зрушення інтерференційних смуг або зсув частоти світлових коливань між обома потоками вимірюються за допомогою фотоприйомного пристрою, на яке надходять обидва світлових промені після проходження замкнутого контуру L . Причому як зрушення інтерференційних смуг, так і зрушення частоти світлових коливань пропорційні швидкості V вимірюваної речовини.

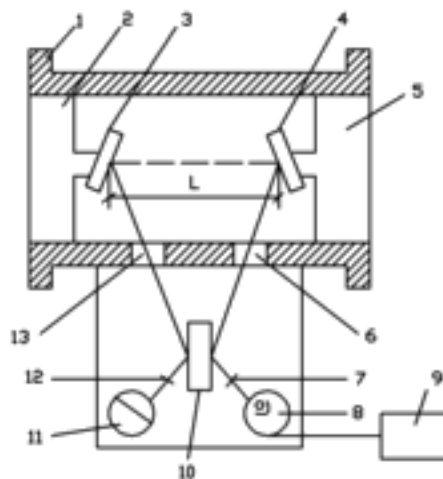


Рис. 2.4 - Схема інтерференційного витратоміра Фізо-Френеля

На Рис. 2.4 наведена схема оптичного інтерференційного витратоміра. Світло від джерела 11 проходить через світлофільтр 12 і напівпрозорим дзеркалом 10 ділиться на два потоки, що проходять через прозорі вставки 6 і

13, встановлені в корпусі 1. Після відбиття від дзеркал 3 і 4 (укріплених в трубці за допомогою випрямлячів 2 і 5 один світловий промінь проходить шлях 1 по потоку вимірюваного речовини, а інший проти нього. Потім вони знову відбиваються від дзеркал 3 і 4 і повертаються до дзеркала 10, де змішуються і утворюють інтерференційну картину. Частина інтерференційної смуги проходить через діафрагму 7 і надходить до фотоприймача 8. Фотострум вимірюється приладом 9.

2.4. Особливі оптичні витратоміри

До особливих оптичних витратомірів можна віднести прилади, засновані на залежності від витрати оптичних властивостей волоконного світловода, який знаходиться в потоці вимірюваного речовини.

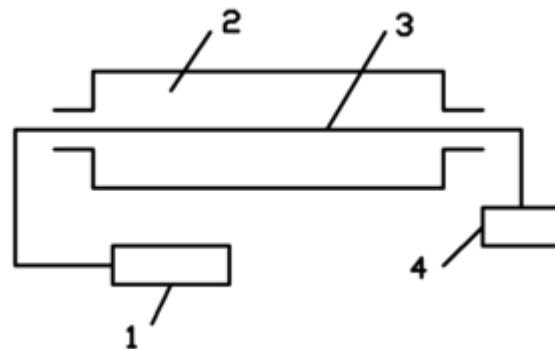


Рис. 2.5 - Оптичний витратомір з волоконним світловодом, розташованим по осі труби.

В даному витратомірі неоновий-гелевий лазер 1 з'єднаний з волоконним світловодом 2. Даний світловод прокладений уздовж осі мідної трубки 3 (діаметром 30 мм і довжиною 500 мм), по якій рухається рідина, яка вимірюється. Протилежний кінець світловода 3 з'єднаний з фотоперетворювачем 4. Перебіг рідини викликає невелику вібрацію волоконного світловода, завдяки чому виникають фазові зсуви світлового

променя. Фотоперетворювач 4 виробляє сигнал, що надходить до вимірювального приладу, але тільки після безпосереднього посилення, фільтрації і інтегрування. Головною перевагою даного витратоміра є простота його конструкції. Але точність цього приладу невисока.

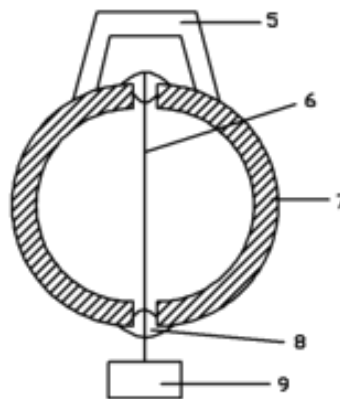


Рис. 2.6 - Оптичний витратомір з волоконним світловодом, розташованим по діаметру труби.

Цей прилад дає набагато кращу точність в порівнянні з попереднім. Перетворювач даного витратоміра складається з тонкого скловолокнистого світловода 6, натягнутого вантажем 9 і розташованого поперек трубопроводу 7. Нитка укріплена вгорі в тримачі 5, проходячи через ущільнення 8. Джерелом світла в даному випадку є неонов-гелевий лазер.

При русі вимірюваної речовини по обидва боки нитки будуть по черзі зриватися вихори з частотою, пропорційною об'ємній витраті. Зважаючи на це, даний перетворювач розглядають, як один з можливих варіантів перетворювачів вихрових витратомірів. Зриви вихорів викликають вібрацію світловода і, як наслідок, фазову модуляцію світлового променя, що проходить через нього сприйняту фотодетектором.

2.5. Висновки до розділу

Основними перевагами оптичних (лазерних) витратомірів є:

- висока точність;
- відсутність контакту з вимірюваною речовиною;
- висока чутливість;
- мала інерційність;
- широкий діапазон виміру швидкостей (0,1 ... 100 м / с) і витрат

незалежно від фізичних властивостей вимірюваного середовища (як рідин, так і газів), за винятком вимоги прозорості середовища в діапазоні довжин хвиль, випромінюваних лазерами.

Найбільш перспективним є використання оптичних методів в експериментальній гідродинаміці, особливо в області турбулентних явищ, вивчення яких традиційними способами не дає бажаних результатів через недостатню точність приладів і, головне, внесення ними спотворень в досліджувану структуру потоку.

Витратоміри даного типу застосовуються для оптично прозорих рідин, до яких відносяться вода, гас, бензин, спирт, розчини сірчаної, азотної кислот і газів. Також лазерні витратоміри використовують при вимірюванні витрати агресивних, високо- і низькотемпературних (криогенних) рідин і газів.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА НОВОГО ПРОТОТИПУ ЛАЗЕРНОГО ДОППЛЕРІВСЬКОГО ВИТРАТОМІРА

3.1. Мета винаходу

Лазерний доплерівський витратомір (ЛДВ) відноситься до інформаційно-вимірювальної техніки літальних апаратів (ЛА), що використовують оптично активні паливно-мастильні матеріали (ПММ), наприклад, АМГ-10 та ін.

В основу винаходу поставлена задача підвищення точності вимірювання швидкості і витрати оптично активних середовищ, за рахунок використання одного лазера і чотирьох зондуючих пучків, які попарно мають взаємно ортогональні циркулярні поляризації.

У ЛДВ поставлена задача досягається за рахунок того, що в пристрої додатково встановлені поляризатор і чвертьхвильова пластина на виході лазера, друга фокусуюча лінза, оптичні осі двох фокусуючих лінз збігаються з віссю трубопроводу, по якому рухається потік оптично активної рідини, два дзеркала, друга збираюча лінза, оптичний приймальний блок, що складається з двох лінз і апертурними діафрагми між ними, невзаємного фазорегулятора з блоком живлення, два світловода, а також смуговий фільтр, вхід якого з'єднаний з виходом фотоприймача, а вихід зі входом цифрового вимірювача, при цьому дві фокусуючі лінзи мають круглі центральні отвори, через які проходить прозорий трубопровід, і ці лінзи оптично узгоджені з трьома дзеркалами і кожна з лінз фокусує два пучка на осі трубопроводу під одним і тим же кутом γ , невзаємний фазорегулятор встановлений на шляху пучка,

Кафедра авіоніки				НАУ 19 15 17 000 ПЗ			
Виконав	Поляк С.В.			Розробка нового прототипу лазерного доплерівського	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Землянський В.М.					50	60
Консульт.	Землянський В.М.						
Н. консульт.	Певківський В.В.						
				6 051103 «Авіоніка»			

що направляється другою фокусуючою лінзою на вісь трубопроводу, вихід приймального блоку оптично узгоджений через один світловод із входом фотоприймача, а вихід збираючої лінзи, яка утворює з другою збираючою лінзою другий прийомний блок, також оптично узгоджений через другий світловод із входом фотоприймача.

3.2. Недоліки існуючого прототипу

Відомий лазерний доплерівський вимірювач, який містить оптично узгоджені лазер, фокусуючий об'єктив, збираючий об'єктив, фотоприймач і вимірювач доплерівської частоти.

Проте відомий пристрій має деякі недоліки лазерного доплерівського вимірювача за патентом UA 98373, Бюл.№9, 2012:

- має невисоке відношення сигнал / шум;
- невисока точність при використанні малопотужного лазера;
- Крім того, при проходженні лінійно поляризованих зондувальних пучків через оптично активне середовище відбувається зміна азимута поляризації, що призводить до низького ступеня поляризаційного узгодження змішуваних на фотокатоді фотоприймача пучків.

Найбільш близьким за технічною сутністю є лазерний доплерівський вимірювач, що складається з лазера, фокусуючої лінзи, збираючої лінзи з апертурною діафрагмою, дзеркала, фотоприймача і цифрового вимірювача доплерівської частоти. Однак цей пристрій не може використовуватися при діагностиці оптично активних рідких середовищ, оскільки в ньому використовуються лінійно поляризовані зондуючі пучки. При проходженні

цих пучків через оптично активне середовище відбувається зміна азимута поляризації, що призводить до низького ступеня поляризаційного узгодження змішуваних на фотокатоді фотоприймача пучків, і в кінцевому підсумку падіння відношення сигнал / шум і відповідно точності.

3.3. Пристрій для вимірювання витрати оптично активних паливо-мастильних матеріалів

На Рис. 3.1 приведена схема ЛДВ.

ЛДВ складається з лазера 1, випромінюючого когерентний лазерний пучок 2, наприклад, вертикальної поляризації, поляризаційного фільтра – поляризатора 3, чвертьхвильової фазової пластини 4, фокусуючої лінзи 5 з центральним отвором діаметра d_1 , лазерних зондуючих пучків 6, 7, 8, і 9; другої фокусуючої лінзи 10 з отвором діаметра d_1 , дзеркал 11, невзаємного фазорегулятора 12 з блоком живлення 13, прозорого трубопроводу 14, по якому в напрямку його осі ОХ рухається потік оптично активного середовища (наприклад АМГ-10) зі швидкістю V , оптичного приймального блоку, що складається з оптично узгоджених збираючих лінз 15 з апертурною діафрагмою 17 і лінзою 19, другого приймального блоку, що складається з оптично узгоджених двох лінз 16 і 20 і апертурної діафрагми між ними 18, двох світловодів 21 і 22, фотоприймача 23, смугового фільтра 24 і цифрового вимірювача доплерівської частоти з обчислювачем 25; 26 і 27-розсіяне випромінювання.

Пристрій працює наступним чином.

Лазер 1 випромінює пучок 2, який проходить поляризатор 3 з азимутом осі пропускання $\alpha = 90^\circ$ і далі перетворюється чвертьхвильовою пластиною 4 в лівоциркулярно поляризований пучок 6, який фокусується лінзою 5 в точці О, розташованій на осі трубопроводу 14. Далі пучок 6, пройшовши трубопровід 14, збирається лінзою 10 і після відбиття від двох дзеркал 11 фокусується лінзою 10 в точці О (у вимірювальному об'ємі О). Лінзи 5 і 10

мають відповідно фокусні відстані F_1 і F_2 ($F_1 = F_2$), крім того, їх оптичні осі збігаються з віссю ОХ трубопроводу 14. Зондувальний пучок 7 має лівоциркулярну поляризацію. Пучок 7 збирається лінзою 5 і після відбиття від дзеркала 11 стає правоциркулярно поляризованим. Далі цей пучок 8 фокусується лінзою 5 в вимірювальному об'ємі О, потім збирається лінзою 10 і далі після відображення від двох дзеркал 11 цей пучок 9 фокусується в області О. Таким чином в зоні вимірювання О лінзою 5 фокусуються два пучка 6 і 8, а лінзою 10 два пучка 7 і 9. Ці пучки перетинаються під кутом γ і мають взаємно ортогональні циркулярні поляризації, тому при їхньому проходженні через оптично активне середовище, що рухається по трубопроводу 14, не спостерігається зміни стану їх поляризації. Пучок 9 збирається лінзою 5 і перетворюється чвертьхвильовою пластиною 4 в горизонтально поляризований пучок. Цей пучок пригнічується поляризаційним фільтром 3 і не потрапляє в оптичний резонатор лазера 1.

Через зону вимірювання О, яка представляє собою еліпсоїд обертання, рухається рідке середовище зі швидкістю V , що містить мікрочастинки (ці частинки мають діаметр сумірний з довжиною хвилі λ лазерного пучка 2). Розсіяне на мікрочастинках випромінювання 26 збирається приймальним блоком, що складається з 16, 18 і 20, вихід якого оптично узгоджений із входом світловода 22.

Другий приймальний блок, що складається з 15, 17 і 19, збирає розсіяне випромінювання 27, яке направляється у вхідний пристрій світловода 21. Виходи світловодів 21 і 22 оптично узгоджені із входом фотоприймача 23. Таким чином за допомогою світловода 21 (аналогічно світловодом 22) на фотокатод фотоприймача направляються чотири розсіяних пучка: $\overline{E_{s6}}$ і $\overline{E_{s7}}$, які мають лівоциркулярні поляризації, а також пучки $\overline{E_{s8}}$ і $\overline{E_{s9}}$, що мають правоциркулярні поляризації.

В результаті оптичного змішування на фотокатоді фотоприймача чотирьох розсіяних пучків на його виході формується сигнал, спектр якого

містить шість високочастотних складових на наступних доплерівських частотах:

$$W_{g67} = (\overline{K_{06}} - \overline{K_{07}}) \overline{V}; \quad (3.1)$$

$$W_{g68} = (\overline{K_{06}} - \overline{K_{08}}) \overline{V}; \quad (3.2)$$

$$W_{g69} = (\overline{K_{06}} - \overline{K_{09}}) \overline{V}; \quad (3.3)$$

$$W_{g78} = (\overline{K_{07}} - \overline{K_{08}}) \overline{V}; \quad (3.4)$$

$$W_{g79} = (\overline{K_{07}} - \overline{K_{09}}) \overline{V}; \quad (3.5)$$

$$W_{g81} = (\overline{K_{08}} - \overline{K_{09}}) \overline{V}; \quad (3.6)$$

де $\overline{K_{0i}}$ – хвильовий вектор «і-го» зондувального пучка.

Якщо розсіяне випромінювання 26 і 27 збирається в напрямку осі ОУ під малими кутами, симетрично площині ОХУ, то як показано в [3], це розсіяне випромінювання зберігає незмінним стан поляризації по відношенню до поляризації зондувального пучка. Тому розсіяні пучки $\overline{E_{s6}}$ і $\overline{E_{s7}}$ мають лівоциркулярну поляризацію, і пучки $\overline{E_{s8}}$ і $\overline{E_{s9}}$ – правоциркулярну поляризацію. Для цих пар пучків коефіцієнт поляризаційного узгодження [3]

$$K_{n67}=1 \text{ и } K_{n89}=1. \quad (3.7)$$

Для інших пар пучків коефіцієнти поляризаційного узгодження близькі до 0:

$$K_{n68} = 0; K_{n69} = 0; K_{n78} = 0; K_{n79} = 0. \quad (3.8)$$

Тому при виконанні умов (7) і (8) високочастотні сигнали (перехресні перешкоди) (2), (3), (4) і (5) на виході фотоприймача 23 придушуються, а два корисних сигналу (1) та (6) мають однакові частоти

$$W_{g67} = W_{g89} = \frac{4\pi}{\lambda} \cos \frac{\gamma}{2} V_x, \quad (3.9)$$

де λ – довжина хвилі лазерних пучків;

γ – кут між зондувальними пучками 6 і 8, а також 7 і 9.

Корисні сигнали на частоті (9), пропорційної швидкості V_x , підсумовуються і далі через смуговий фільтр 24 надходять в вимірювач 26, який по відомим рівнянням обчислює миттєву і сумарну витрату оптично активного середовища, що рухається по трубопроводу 14.

використання лазера, чотирьох зустрічних зондувальних пучків, які попарно мають взаємно ортогональні циркулярні поляризації. Зондувальні пучки фокусуються двома лінзами, оптичні осі яких збігаються з віссю симетрії прозорого трубопроводу. Розсіяне випромінювання від чотирьох зондувальних пучків збирається двома прийомними блоками і далі за допомогою світловодів прямує на фотоприймач, який через смуговий фільтр з'єднаний з цифровим обчислювачем.

Використання схеми ЛДВ з просвітленою оптикою (Рис.3.1) з чотирма зондуючими пучками, сумарна потужність яких практично дорівнює $P_{\Sigma} = 4P_2$, де P_2 - потужність лазерного пучка 2, дозволяє істотно підвищити відношення сигнал / шум і відповідно точність вимірювання швидкості і витрати рідкого середовища. При цьому на відміну від прототипу, в якому використовується два лазера, в пристрої використовується тільки один лазер потужністю P_2 . Невзаємний фазорегулятор 12 - комірка Фарадея, дозволяє при використанні двох прийомних блоків і двох світловодів 21 і 22, також підвищити потужність корисного сигналу, оскільки за рахунок регулювання фаз корисних сигналів він забезпечує режим синфазного прийому двох сигналів (1) і (6), що мають однакові доплерівські частоти .

Крім того пропонується ЛДВ має меншу вагу і вартість в порівнянні з прототипом, в якому необхідно використовувати замість одного два лазера.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система правових, нормативних, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Охорона праці спирається на комплекс державних законодавчих актів. Загальними законами України, що визначають основні положення щодо охорони праці є Конституція України, Кодекс законів про працю, Закон України “Про охорону праці”, Закон України “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення”, Закон України “Про пожежну безпеку”, Закон України “Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності” та підзаконні акти щодо охорони праці.

Всі закони і підзаконні акти з охорони праці базуються і відповідають Основному Закону держави – Конституції України, яка гарантує право громадян України на працю, яку вони вільно обирають, або на яку вільно погоджуються, на належні, безпечні і здорові умови праці, на відпочинок і на соціальний захист.

Основним законодавчим документом щодо охорони праці є Закон України “Про охорону праці”, який прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року.

Задачі техніки безпеки спрямовані на попередження нещасливих випадків на виробництві. Вони зважуються на всіх етапах створення й експлуатації авіаційної техніки.

Небезпечний (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого в певних умовах може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника.

Шкідливий (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я зниження працездатності працівника.

Умова праці – сукупність факторів виробничого середовища які впливають на здоров'я і працездатність людини в процесі її професійної діяльності.

Виробниче середовище – сукупність фізичних, хімічних, біологічних, соціальних факторів, що діють на людину в процесі трудової діяльності.

Міжгалузеві і галузеві акти з охорони праці – закони, міжгалузеві і галузеві стандарти, норми, правила, положення, інструкції і інші документи з охорони праці, яким надається сила правових норм обов'язкових для виконання.

Нагляд за охороною праці – одна з форм діяльності державних органів по дотриманню вимог законів і інших нормативних актів з охорони праці встановлених державною владою.

4.1. Загальні відомості про лазерне випромінювання

Лазерне випромінювання - це вимушене (через лазера) випускання атомами речовини порцій-квантів електромагнітного випромінювання. Саме слово «лазер» походить від англійського laser - аббревіатура словосполучення «посилення світла за допомогою вимушеного випромінювання». Отже, лазер

(оптичний квантовий генератор) це генератор електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, заснований на використанні вимушеного (стимульованого) випромінювання.

Лазерна установка включає активну (лазерну) середу з оптичним резонатором, джерело енергії її збудження і, як правило, систему охолодження.

Лазерні установки використовуються при обробці металів (різання, свердління, поверхнєве загартування та ін.), В хірургії, для цілей локації, навігації, зв'язку та ін. Найбільшого поширення в промисловості отримали лазери, які генерують електромагнітні випромінювання з довжиною хвилі 0,33; 0,49; 0,63; 0,69; 1,06; 10,6 мкм (мікрометр).

В основу класифікації лазерів покладено ступінь небезпеки лазерного випромінювання для обслуговуючого персоналу. Згідно з цією класифікацією лазери розділені на чотири класи:

I (безпечні) - вихідний випромінювання небезпечно для очей;

II (малонебезпечні) - небезпечно для очей пряме або дзеркально відбите випромінювання;

III (середнеопасніе) - небезпечно для очей пряме, дзеркально, а також дифузно відбите випромінювання на відстані 10 см від поверхні, що відбиває і (або) для шкіри пряме або дзеркально відбите випромінювання;

IV (високонебезпечні) - небезпечно для шкіри дифузно відбите випромінювання на відстані 10 см від поверхні, що відбиває.

У ролі ведучих критеріїв при оцінці ступеня небезпеки генерованого лазерного випромінювання прийнято потужність (енергія), довжина хвилі, тривалість імпульсу і експозиція опромінення.

Гранично допустимі рівні, вимоги до улаштування, розміщення та безпечної експлуатації лазерів регламентовані Санітарними нормами і правилами пристрої і експлуатації лазерів від 31.07.1991 № 5804-91, які дозволяють розробляти заходи щодо забезпечення безпечних умов праці при роботі з лазерами. Санітарні норми і правила дозволяють визначити значення

гранично допустимих рівнів для кожного режиму роботи, ділянки оптичного діапазону за спеціальними формулами і таблицями. Гранично допустимі рівні опромінення диференційовані з урахуванням режимів роботи лазерів: безперервного, моноімпульсного, імпульсно-періодичного.

Залежно від специфіки технологічного процесу робота з лазерним устаткуванням може супроводжуватися впливом на персонал переважно відображеного і розсіяного випромінювання. Енергія випромінювання лазерів в біологічних об'єктах (тканина, орган) може піддаватися різним перетворенням і викликати органічні зміни в опромінюваних тканинах (первинні ефекти) і неспецифічні зміни функціонального характеру (вторинні ефекти), що виникають в організмі у відповідь на опромінення.

Вплив випромінювання лазера на органи зору (від невеликих функціональних порушень до повної втрати зору) залежить в основному від довжини хвилі і локалізації впливу.

При застосуванні лазерів великої потужності і розширенні їх практичного використання зростає небезпека випадкового пошкодження не тільки органу зору, але і шкірних покривів і навіть внутрішніх органів з подальшими змінами в центральній нервовій і ендокринній системах.

Попередження поразок лазерним випромінюванням включає систему заходів інженерно-технічного, планувального, організаційного, санітарно-гігієнічного характеру.

При використанні лазерів II - III класів небезпеки з метою виключення опромінення персоналу необхідно або огороження лазерної зони, або екранування пучка випромінювання. Екрани й огороження повинні виготовлятися з матеріалів з найменшим коефіцієнтом відображення, бути вогнестійкими і не виділяти токсичних речовин при впливі на них лазерного випромінювання.

Лазери IV класу небезпеки розміщуються в окремих ізольованих приміщеннях і забезпечуються дистанційним управлінням їх роботою.

При розміщенні в одному приміщенні декількох лазерів слід виключити можливість взаємного опромінення операторів, що працюють на різних установках. Не допускається в приміщення, в яких розміщені лазери, вхід осіб, які не мають відношення до їх експлуатації. Забороняється візуальна юстирування лазерів без засобів захисту.

Для захисту від шуму приймаються відповідні заходи звукоізоляції установок, звукопоглинання та ін.

До індивідуальних засобів захисту, що забезпечує безпечні умови праці при роботі з лазерами, відносяться спеціальні окуляри, щитки, маски, призначені для зниження опромінення очей до гранично допустимого рівня. Засоби індивідуального захисту застосовуються тільки в тому випадку, коли колективні засоби захисту не дозволяють забезпечити вимоги санітарних правил.

4.2. Захист працівників від лазерного випромінювання

Залежно від класу лазерної установки використовуються різні захисні засоби, що включають порядок експлуатації установки, певні «Санітарними нормами і правилами пристрої і експлуатації лазерів».

Комплекс заходів, що забезпечують безпеку роботи з лазером, включає технічні, санітарно-гігієнічні та організаційні заходи і спрямований на запобігання опромінення персоналу рівнями, що перевищують ПДУ.

Досягається це забезпеченням лазерів пристроями, що виключають вплив прямого і відбитого випромінювання (екрани); використанням засобів дистанційного керування, сигналізації та автоматичного відключення; створенням спеціальних приміщень для робіт з лазером, їх правильної компоновання із забезпеченням необхідного вільного простору, систем контролю рівнів опромінення; обладнанням робочих місць місцевою витяжною вентиляцією.

Як екранують пристроїв від прямого і відбитого випромінювання на шляху променя встановлюють бленди, а біля об'єкта, що опромінюється - діафрагми.

До обслуговування лазерів допускаються особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань, пройшли інструктаж і навчені безпечним методам роботи (мають відповідну кваліфікаційну групу з техніки безпеки).

В процесі експлуатації установок на адміністрацію покладено обов'язки контролю за безпечним веденням робіт, а також запобігання використання заборонених прийомів робіт.

До засобів індивідуального захисту від лазерного випромінювання, що використовуються тільки в комплексі з засобами колективного захисту, відносяться захисні окуляри і маски зі світлофільтрами.

Їх вибір в кожному конкретному випадку здійснюється з урахуванням довжини хвилі генерується випромінювання.

Захист працівників від лазерного випромінювання здійснюється організаційно-технічними, санітарно-гігієнічними та лікувально-профілактичними методами і засобами.

До організаційно-технічних методів захисту працівників від лазерного випромінювання відносяться:

- вибір, планування і внутрішнє оздоблення приміщень;
- раціональне розміщення лазерних установок і порядок їх обслуговування;
- організація робочого місця;
- застосування засобів захисту (огорожі, захисні екрани, блокування, автоматичні затвори, кожухи, захисні окуляри, щитки, маски та інші засоби колективного та індивідуального захисту);
- обмеження часу впливу випромінювання;

- призначення та інструктаж осіб, відповідальних за організацію і проведення робіт на лазерних установках;
- обмеження допуску до проведення робіт;
- організація нагляду за режимом робіт;
- навчання обслуговуючого персоналу безпечним методам і прийомам виконання робіт з лазерними установками;
- чітка організація протиаварійних робіт і регламентація порядку ведення робіт в аварійних ситуаціях;
- установка зони лазерної безпеки.

Санітарно-гігієнічними та лікувально-профілактичними методами і засобами захисту працівників від лазерного випромінювання є:

- контроль за рівнями шкідливих і небезпечних факторів на робочих місцях (періодичний дозиметричний контроль лазерного випромінювання);
- контроль за проходженням персоналом попередніх і періодичних медичних оглядів.

4.3. Розрахунок освітлення робочого місця

4.3.1. Значення освітлення робочого місця

Важливою умовою високопродуктивної праці інженера-розробника є раціональне освітлення його робочого місця. Пояснюється це тим, що за допомогою зорового апарату людина отримує близько 90% інформації з навколишнього світу, її надходження багато в чому залежить від якості освітлення.

Несприятливими факторами для професійної діяльності інженера-розробника, негативно впливають на зір, є:

- знижений рівень освітленості, що приводить до перенапруження очей і, як наслідок - до швидкої втоми.

- надмірно висока освітленість також є причиною швидкої стомлюваності, приводячи до подразнення і різі в очах;
- неправильний напрямок світла сприяє появі різких тіней або сильних відблисків, помітно швидше утомляючих очі.

4.3.2. Кількісні характеристики освітлення.

Освітленістю E деякої поверхні називається відношення світлового потоку $\Delta\Phi$, який падає на площу ΔS поверхні, до величини цієї площі:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} [лк]$$

Для оцінки і регламентації природної освітленості прийнятий коефіцієнт природної освітленості (КЕС), який являє собою відношення освітленості в будь-якій точці приміщення E_1 до одночасної зовнішньої освітленості горизонтальної площадки на відкритому місці, освітленій дифузним світлом всього небосхилу E_2 :

$$KEO = \frac{E_1}{E_2} * 100\%$$

4.3.3. Системи освітлення.

Одна з важливих компонент, необхідних для освітлення приміщень - природне світло.

Природне освітлення - освітлення приміщень світлом неба (прямим або відбитим), що проникає через світлові прорізи в стінах будівлі або через прозорі покриття одноповерхових приміщень. Бічні отвори обладнані зашкеленими рамами, а прозорі частини покриттів зазвичай виготовляються з стеклобетона.

Добре проникає в приміщення природне світло сприятливо діє на психіку людини, викликаючи позитивні емоції, забезпечуючи хороші гігієнічні умови роботи. За рахунок природного освітлення стимулюється обмін речовин, кровообіг, дихання, діяльність центральної нервової системи, що в свою чергу, забезпечує високу продуктивність праці.

Другий не менш важливою складовою освітлення робочих приміщень є штучне освітлення, в більшості випадків - електричне. Штучне освітлення використовується в тому випадку, якщо природне є недостатнім за санітарними нормами проектування (в разі темного часу доби, в приміщеннях, де немає природного освітлення).

Суміщене освітлення - освітлення, при якому природне освітлення доповнюється штучним.

4.3.4. Розрахунок.

Вибір штучних джерел світла виробляють за СНиП II-4-79 з урахуванням характеристики виконуваних робіт і розмірів об'єктів розрізнення. Виходячи з цих норм, і проводиться вибір системи освітлення, типу ламп, їх потужності, кількості, їх розташування і висоти підвісу.

Так як мінімальним об'єктом розрізнення при роботі з ПЕОМ є піксель, розмір якого становить 0.28мм, то виконується вид робіт вважаємо зорової роботою дуже високої точності. Таким чином, відносимо виконувані роботи до II розряду. Залежно від використовуваного програмного забезпечення контраст може бути прямим або зворотним, а характер контрасту об'єкта і характер фону може бути будь-яким: світлим, середнім, темним.

Вибираючи систему освітлення, необхідно враховувати, що більш ефективною є система комбінованого освітлення, але система загального освітлення більш гігієнічна, тому забезпечує більшу рівномірність освітленості робочих поверхонь. Використовуючи локалізоване загальне освітлення, можна найбільш просто добитися високих рівнів освітленості на робочих місцях без значних витрат. При підвищених вимогах до освітленості окремих робочих місць використовують комбіновану систему освітлення.

Оскільки робота оператора ЕОМ не відноситься до категорії особливо точних, вибираємо систему загального освітлення. Нормативна величина показника осліпленості $P = 20\%$ [3], рівня пульсацій освітленості $K_n = 10\%$.

Штучне освітлення різних приміщень здійснюється за допомогою електричних джерел світла - ламп розжарювання і люмінесцентних ламп, так званих ламп денного світла. Для освітлення виробничих приміщень широке застосування знаходять люмінесцентні лампи, що пояснюється рядом причин.

- застосування даного типу ламп дозволяє отримати в 1,5 - 2 рази більшу освітленість при однаковій витраті електричної енергії в порівнянні з лампами розжарювання (економічність);

- світло люмінесцентної лампи м'який, по своєму спектру найбільш близький до денного природного, при майже повній відсутності тіней, що дозволяє краще розрізняти кольори і відтінки;

- також, люмінесцентні лампи мають більш тривалий термін служби, що перевищує термін служби лампи розжарювання в 10-12 разів.

До недоліком даного виду ламп можна віднести:

- високу установчу вартість;
- залежність світлового потоку від температури навколишнього середовища;
- суттєва пульсація світлового потоку.

Знайдемо необхідне число ламп за допомогою методу коефіцієнта використання.

Розрахунок системи загального освітлення проводиться методом коефіцієнта використання світлового потоку, який виражається відношенням світлового потоку, що падає на расчётную поверхню, до сумарного потоку всіх ламп. Його величина залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, фарбування стін і стелі, що характеризується коефіцієнтами відбиття стін і стелі.

Необхідний світловий потік лампи в кожному світильнику:

$$F_o = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}, \text{ де}$$

F_o - розрахований загальний світловий потік, Лм;

E - задана мінімальна освітленість, лк (500);

k - коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (для люмін. ламп - 1,5);

s - освітлювана площа, м² (20);

z - відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1.1-1.2, для люмін. ламп - 1,1);

η - коефіцієнт використання світлового потоку в частках одиниці (відношення світлового потоку, що падає на розраховану поверхню, до сумарного потоку всіх ламп).

Коефіцієнт використання η залежить від типу світильника, от коефіцієнтів відображення стелі $\rho_{\text{п}}$, стін $\rho_{\text{с}}$, розрахункової поверхні $\rho_{\text{р}}$,

індекса приміщення $i = \frac{s}{h \cdot (a + b)}$,

де h - висота світильника над робочою поверхнею, a - довжина приміщення, b - ширина приміщення.

Знайдемо h по формулі:

$$h = H - h_p - h_c = 4 - 0,7 - 0 = 3,3 \text{ (м)}, \text{де}$$

H = висота приміщення, м (4);

h_p = висота робочої поверхні від полу, м (0,7);

h_c = висота звісу світильника від основної стелі, м (0).

$$i = \frac{5 \cdot 4}{3,3 \cdot (5 + 4)} = \frac{20}{3,3 \cdot 9} = 0,67 \Rightarrow 0,7.$$

Для світлого фону приймемо, що : $\rho_n = 70$, $\rho_c = 50$, $\rho_p = 10 \Rightarrow \eta = 36 \%$.

$$F_{\text{л}} = \frac{F_0}{N}, \text{ де}$$

$F_{\text{л}}$ - світловий потік однієї лампи;

F_0 - загальний світловий потік;

N – кількість ламп.

$$F_o = \frac{500 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,1}{0,39} = 42307 \text{ лм};$$

$$\Rightarrow N = \frac{F_o}{F_{\text{л}}}$$

$$N = \frac{42307}{4400} = 9,6 \Rightarrow 10$$

Для освітлення вибираємо люмінесцентні лампи типу ЛХБ65, світловий потік яких $F_{\text{л}} = 4400 \text{ Лм}$.

Число світильників вибирається залежно від розмірів освітлюваного приміщення, при цьому кількість світильників повинно бути таким, щоб ставлення відстані між ними до висоти їх підвісу над поверхнею дорівнювало $1,5 \div 2$.

При виборі освітлювальних приладів використовуємо світильники типу ЛСПО 2. Кожен світильник комплектується двома лампами. Розміщуються світильники трьома рядами, по два в кожному ряду.

Допускається відхилення (ϵ) світлового потоку обраної лампи від розрахункового від -10% до $+20\%$.

$$E_{\text{факт}} = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N \cdot N_{\text{л.св}} \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k}$$

$$E_{\text{факт}} = \frac{4400 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,39}{20 \cdot 1,1 \cdot 1,5} = 554 \text{ лк}$$

Відмінність від нормованого рівня

$$\frac{E_{\text{факт}} - E_{\text{норм}}}{E_{\text{норм}}} \cdot 100\%$$

$$\frac{554 - 500}{500} \cdot 100\% = 19\%$$

Для виключення засвічення екранів дисплеїв прямими світловими потоками світильники загального освітлення розташовують збоку від робочого місця, паралельно лінії зору оператора і стіні з вікнами. Таке розміщення світильників дозволяє виробляти їх послідовне включення в

залежності від величини природної освітленості і виключає роздратування очей чергуються смугами світла і тіні, що виникає при поперечному розташуванні світильників.

Електрична потужність всієї освітлювальної системи обчислюється за формулою:

$$P_{\text{общ}} = P_1 \cdot N, \text{ Вт, де}$$

P_1 – потужність однієї лампи = 65 Вт;

N – кількість ламп = 10.

$$P_{\text{общ}} = 65 \cdot 10 = 650 \text{ Вт.}$$

4.4. Інструкція з охорони праці під час експлуатації проектного об'єкту

4.4.1. Основні положення

1. Ця інструкція розроблена у відповідності з вимогами нормативних актів з охорони праці та обов'язкова до виконання усіма працівниками.

2. До роботи з проектом об'єктом допускаються особи інженерно-технічної сполуки, що вивчили проективний пристрій, інструкцію з технічної експлуатації, дану інструкцію і ті, які склали залік по техніці безпеки і пожежної безпеки.

3. Працівник зобов'язаний:

- твердо знати і строго дотримуватись правил внутрішнього розпорядку, правил з охорони праці, не допускати на робочому місці паління і вжитку спиртних напоїв;

- на роботу з'являтися в призначений час, приймати участь у змінно-зустрічних зборах. Хворі та особи у нетверезому стані до роботи не допускаються і повинні бути відправлені у медичний заклад для перевірки стану здоров'я;

- знати, що основними небезпечними і шкідливими виробничими факторами при роботі з електродвигуном є поразка електричним струмом, рухомі незагороджені елементи літака, виступаючі елементи АіРЕО (антени, датчики, ПВД та ін.), недостатній рівень освітлення у технічному відсіку.

4.4.2. Вимоги до безпеки перед початком роботи

працівник зобов'язаний:

- надягти й упорядкувати робочий одяг, надягти головний убір і підібрати під нього волосся;
- перевірити оглядом технічний стан робочого місця, забрати з робочого місця усе, що може перешкодити роботі;
- перевірити справність устаткування, пристосувань, інструмента, вентиляції, місцевого освітлення. Не працювати на устаткуванні з простроченими термінами огляду.

4.4.3. Вимоги до безпеки під час роботи

Для забезпечення безпечної організації праці працівник зобов'язаний:

- забезпечити відсутність людей в зоні переміщення підвісних елементів літака (закрилки, рульові поверхні) на протязі всього періоду робіт по обслуговуванню протиобліднювальної системи;
- не знаходитися поблизу автоматично діючих механізмів, не заходити за огорожу, не знімати та не встановлювати огорожу під час їх роботи;
- переміщатися та оглядати АіРЕО з землі необхідно згідно з розробленими та затвердженими безпечними маршрутами обходу літака, які виключають можливість зіткнення інженерно-технічного складу з виступаючими або рухомими частинами літака;
- не допускається при експлуатації електродвигуна встановлювати запобіжники, які не відповідають номіналу, а також закорочувати їх дротом;
- при виконанні робіт суворо керуватися технологічними вказівками по тій або іншій перевірці;
- забороняється підключати або відключати роз'єми, які знаходяться під струмом;

- періодично необхідно перевіряти надійність з'єднання штепсельних роз'ємів;

- при знаходженні пошкодження ізоляції з'єднувальних кабелів знеструмити електродвигун і відправити його в ремонт;

- огляд, наладку, чистку, змазку, догляд та ремонт електродвигуна виконувати після його повної зупинки та відключенні;

- не притулятися до струмопровідних частин;

- забезпечити достатній рівень природного або штучного освітлення при виконанні робіт в технічному відсіку. Штучне освітлення повинно відповідати вимогам стандарту ГОСТ 5472003-82, а саме: освітлювальні прилади для загального та місцевого освітлення повинні забезпечувати нормовані кількісні та якісні характеристики для освітлювальних пристроїв. Їх вибір слід проводити у відповідності з вимогами СНІП-4-79. Світильники місцевого освітлення повинні оснащуватись світлорегуляторами. Повинні дотримуватись норми освітленості: при загальному освітленні – 300 лк, при комбінованому – 700 лк;

- до робіт на літаку слід приступати при умові виконання вимог галузевого стандарту ГОСТ 5471004-82 і після приєднання корпусу літака до стаціонарного заземляючого пристрою на стоянці літаків;

- підключення наземних джерел електричної енергії до бортової електричної мережі літака, а також їх відключення виконувати у відповідності з вимогами ГОСТ 5430030-84;

- забороняється використовувати у якості переносних електричних освітлювальних пристроїв – освітлювачів напругою 220 В, а також освітлювачів, не обладнаних захисним склом (сіткою);

- при наявності підвищеного рівня шумів на робочому місці необхідно застосовувати шумоподавляючі навушники;

- використовувати захисні окуляри, сітки, каски і іншими захисними пристроями при виконанні усіх видів робіт, які супроводжуються відлітанням осколків;

- при виникненні виробничої ситуації, небезпечної для життя чи здоров'я працюючих, роботи повинні бути негайно припинені і виконавець робіт повинен повідомити безпосереднього керівника.

4.4.4. Вимоги до безпеки після закінчення роботи

По закінченню роботи працівнику необхідно:

- у встановленому порядку вимкнути обладнання, пристрої та апаратуру, всі перемикачі встановити в початкове положення, знеструмити електродвигун. Або передати зміну при безперервному процесі;
- прибрати відходи виробництва;
- після закінчення робіт необхідно прийняти душ, використовуючи резинове взуття на неслизькій підшві для запобігання падіння;
- повідомити керівника про всі недоліки, що виявилися у процесі роботи.

4.4.5. Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях

Знеструмити устаткування, припинити роботу, з'явитися в розпорядження старшого зміни і докласти про подію.

Основними причинами виникнення пожежі при проведенні ТЕ обладнання є:

- короткі замикання елементів ланцюгів;
- встановлення запобіжників, що не відповідають номіналові;
- неправильний вибір проводів у схемі підключення;

Для попередження виникнення пожежі пропонуємо вжити заходів по кожному з перерахованих вище пунктів, а саме:

- періодично перевіряти надійність роз'ємів, особливо в місцях з'єднання проводів зі штепсельними розніманнями. Місця підключення до зовнішніх пристроїв надійні по міцності і пайці;
- не встановлювати «жучки» і запобіжники, що не відповідають номіналові;
- зробити перевірку правильності вибору сполучних проводів.

У випадку виникнення пожежі застосовувати вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-2 або водопінний аерозольний типу ВВПА-400. Рекомендується встановити в лабораторії не менше 2-х вогнегасників.

4. 5. Висновки до розділу

В даному розділі було досліджено вплив лазерного випромінювання на працівника і розроблено заходи що дозволяють зменшити негативні наслідки під час роботи.

У цьому розділі визначено:

- якими саме документами необхідно керуватися під час монтажу та експлуатації розроблюваної системи;
- які небезпечні та шкідливі виробничі фактори впливають на працівників при технічній експлуатації приладу.

Представлені технічні заходи, що виключають або обмежують вплив на технічний персонал небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які виникають.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Загальні положення.

Екологічна безпека – стан навколишнього природного середовища, при якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей.

Екосистема – це об'єднання абіотичного середовища та живих організмів, що мешкають в ньому. Глобальною екосистемою є біосфера, межі якої обумовлені «полем існування життя».

Всю різноманітність екологічних факторів ділять за походженням і характером дії на дві великі групи — абіотичні і біотичні. До абіотичних відносять фактори неорганічної, або неживої, природи, до біотичних — вплив живої природи, а також людини. Антропогенний фактор — такий фактор, агентом якого є людина (безпосередньо або внаслідок своєї діяльності). Роль антропогенного фактора весь час зростає.

5.2. Аналіз впливу техногенних чинників на навколишнє природне середовище

Перехід людства від використання примітивних знарядь праці до техногенної цивілізації призвів до значних негативних наслідків. Зокрема, він виявився деструктивним стосовно природи. Екосистеми (від гр. *oikos* – оселя, середовище) планети – атмосфера, гідросфера, літосфера і біосфера – зазнали руйнівного впливу людини.

XX століття породило проблеми, які торкаються не окремих держав, або регіонів, але й людство загалом. Надзвичайного загострення набули

відносини людини й природи. Людська цивілізація впродовж усієї своєї історії користувалася природою екстенсивно, постійно підвищуючи навантаження на довкілля.

Використання природних ресурсів значною мірою позначилося на якості життя людей, проте економічне зростання, зорієнтоване на кількісні показники, зрештою призвело до колосального забруднення навколишнього середовища, а подекуди до незворотних наслідків, змінюючи характеристики Землі.

Впродовж минулого століття температура на планеті підвищилася на $0,6^{\circ}\text{C}$, що є наслідком так званого парникового ефекту. Повітря забруднюють ще кілька десятків сполук та газів – передусім метан, двоокис азоту, двоокис вуглецю, що використовується під час виробництва мінеральних добрив,

спалюванні твердого палива та різні фтор-хлор-вуглецеві сполуки. Викиди двоокису вуглецю нині становлять понад 50% і за обсягом значно випереджають всі інші шкідливі для клімату викиди.

Підвищення концентрації супутніх газів в атмосфері негативно впливає на кількість атмосферного озону, тобто стає причиною появи "озонових дір". Хімічні речовини, що виснажують озоновий шар й викликають глобальне потепління, також стають причиною забруднення і нижнього атмосферного шару, породжуючи кислотні дощі та інші побічні ефекти забруднення повітря. Кліматичні зміни, пов'язані з глобальним потеплінням, "озоновою дірою", кислотними дощами загрожують погіршенням погодних умов, сприятливих для землеробства. Це, у свою чергу, може вплинути на продовольчу проблему, породжуючи нові фактори нестабільного існування та конфліктів.

Ядерні випробування в атмосфері призвели до того, що Земля загорнулася у суцільну радіоактивну плівку. Радіація накопичується у ґрунті,

воді, рослинах, живих організмах, спричиняючи незворотні зміни. Існують ядерні "поховання", де скидають надзвичайно радіоактивні відходи – радіоактивність ґрунту в таких районах у п'ятнадцять разів вища, ніж на Фукусіма-1. На дні океанів лежать, неначе бомби уповільненої дії, затоплені ракети з отруйними речовинами, уламки ядерних реакторів тощо.

Військова промисловість споживає величезну кількість найціннішої сировини. Кожен новий вид зброї потребує надзвичайних матеріальних витрат, які можна було б використати на користь суспільству – в тому числі на охорону навколишнього середовища. Гонка озброєнь, крім того, що є бездумним розтринькуванням економічних ресурсів і наукового потенціалу, породжує найбільшу загрозу для навколишнього середовища й існування людства – загрозу ядерної катастрофи.

Від нерозсудливості людської діяльності також страждає біологічна ресурсна база. Обмеження біологічної розмаїтості відбувається дедалі швидше. Виснажуються не лише родючі землі, але й втрачаються окремі види їжі, лікарських рослин, деякі види тваринного світу. Особливо значних масштабів набула вирубка лісів, оскільки нерідко руйнується родючий шар землі поруч із вирубками, активізується ерозія ґрунтів і, що найнебезпечніше, збільшується концентрація вуглецю в атмосфері, що призводить до посилення парникового ефекту і глобального потепління клімату.

Важлива для людства проблема – охорона геологічного середовища, тобто верхньої частини літосфери, яка розглядається як багатокomпонентна динамічна система, що перебуває під впливом інженерно-господарської діяльності людини і, в свою чергу, певною мірою визначає цю діяльність. Найголовніший компонент геологічного середовища – гірські породи, що містять нарівні з твердими мінеральними і органічними компонентами гази, підземні води. Особливо великий негативний вплив на довкілля від техногенних катастроф, найбільша з яких у XX ст. – на Чорнобильській атомній електростанції – сталася в Україні.

Це суттєвим чином залежить від технічного рівня вугільної енергетики. Прикладом системних дій у подоланні екологічних ризиків є вугільна енергетика Європи. У ФРН на початку ХХІ ст. стала до ладу модельна вугільна ТЕС, в процесі роботи якої викиди вуглекислого газу в атмосферу відсутні.

Сучасний екологічний стан України характеризується показниками, які викликають серйозне занепокоєння. Під загрозою джерела питної води. Найбільш забруднена вода у басейні Дніпра, на півдні України й Криму. Численні водойми забруднені, а інші переживають біологічну деградацію. У критичному стані низка південних прибережних районів Чорного й Азовського морів. Щорічно близько 12,5 мільярда кубометрів стоків, у тому числі два мільярди неочищених, потрапляють у Чорне море. Забруднення нечистотами Азовського моря також значне (4 мільярда кубометрів, з яких 1,9 мільярда - неочищені).

Ріка Дніпро, яка є джерелом питної води для більш ніж 70% населення України, забруднюється комунальними, промисловими та сільськогосподарськими стоками. Вода річки також уражена радіацією. Крім проблем якості води, має місце хронічна нестача питної води у південних та південно-східних районах, а також у Криму. Скорочення запасів питної води в Криму вже призвело до спалаху низки інфекційних захворювань, в тому числі холери.

Високим є рівень забруднення повітря – особливо у містах та промислових районах. Головні джерела забруднення повітря – металургійні, автохімічні та нафтохімічні підприємства, а також електростанції. У найбільш уражених регіонах середня концентрація шкідливих для здоров'я людей речовин в атмосфері до 5 разів перевищує рівні індустриальних країн.

Величезна промислова зона у Донецько-Дніпровському регіоні є однією із найнебезпечніших для навколишнього середовища не лише України, але й загалом Європи. Вона охоплює 18,6% території України, де проживає 28% населення. Викид у повітря шкідливих речовин становить тут

понад 70%. Близько 71% земель знищено, а забруднення ґрунтів хімічними добривами та пестицидами надзвичайно високе. Також забруднена одна шоста підземних вод.

5.3. Вплив лазерного випромінювання на навколишнє середовище та живі організми

5.3.1. Лазерне випромінювання як шкідливий чинник
виробничого середовища

Лазерне випромінювання - це вимушене (через лазера) випускання атомами речовини порцій-квантів електромагнітного випромінювання. Слово «лазер» - аббревіатура, утворена з початкових літер англійської фрази Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (посилення світла за допомогою індукованого випромінювання). Отже, лазер (оптичний квантовий генератор) - це генератор електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, заснований на використанні вимушеного (стимульованого) випромінювання.

Лазерна установка включає активну (лазерну) середу з оптичним резонатором, джерело енергії її збудження і, як правило, систему охолодження. За рахунок монохроматичності лазерного променя і його малої розбіжності (високого ступеня колімінованості) створюються виключно високі енергетичні експозиції, дозволяють отримати локальний термoeфект. Це є підставою для використання лазерних установок при обробці матеріалів (різання, свердління, поверхневе загартування та ін.), В хірургії тощо

Лазерне випромінювання (здатне поширюватися на значні відстані і відбиватися від кордону розділу двох середовищ, що дозволяє застосовувати цю властивість для цілей локації, навігації, зв'язку і т. Д. Шляхом підбору тих чи інших речовин в якості активного середовища лазер може індукувати випромінювання практично на всіх довжинах хвиль, починаючи з ультрафіолетових і закінчуючи довгохвильовими інфрачервоними.

Найбільшого поширення в промисловості отримали лазери, які генерують електромагнітні випромінювання з довжиною хвилі 0,33; 0,49; 0,63; 0,69; 1,06; 10,6 мкм.

5.3.2. Біологічна дія ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Дія ЧИ (далі по тексту - ЧИ) на людину досить складно. Воно залежить від параметрів ЧИ, перш за все від довжини хвилі, потужності (енергії) випромінювання, тривалості впливу, частоти проходження імпульсів, розмірів опромінюваної області («розмірний ефект») і анатомо-фізіологічних особливостей опромінюваної тканини (очей, шкіра). Оскільки органічні молекули, з яких складається біологічна тканина, мають широкий спектр абсорбіруємих частот, то немає підстав вважати, що монохроматичність ЧИ може створювати будь-які специфічні ефекти при взаємодії з тканиною.

Просторова когерентність також не змінює істотно механізму пошкоджень випромінюванням, так як явище теплопровідності в тканинах і властиві оці постійні дрібні рухи руйнують інтерференційну картину вже при тривалості впливу, що перевищує кілька мікросекунд. Таким чином, ЧИ пропускається і поглинається біотканями по тим же законам, що і некогерентного, і не викликає в тканинах будь-яких специфічних ефектів.

Енергія ЧИ, поглинена тканинами, перетворюється в інші види енергії - теплову, механічну, енергію фотохімічних процесів, що може викликати ряд ефектів: теплової, ударний, світлового тиску та ін. ЧИ становить небезпеку

для органу зору. Сітківка ока може бути вражена лазерами видимого (0,38 - 0,7 мкм) і ближнього інфрачервоного (0,75 - 1,4 мкм) діапазонів. Лазерне ультрафіолетове (0,18 - 0,38 мкм) і дальнє інфрачервоне (понад 1,4 мкм) випромінювання не досягають сітківки, але можуть пошкодити рогівку, радужку, кришталік.

Досягаючи сітківки, ЧИ фокусується заломлюючої системою очі, при цьому щільність потужності на сітківці збільшується в 1000 - 10 000 разів у порівнянні з щільністю потужності на рогівці. Короткі імпульси (0,1 с - 10-14 с), які генерують лазери, здатні викликати пошкодження органу зору за значно коротший проміжок часу, ніж той, який необхідний для спрацювання захисних фізіологічних механізмів (мігательний рефлекс 0,1 с).

Другим критичним органом до дії ЧИ є шкірні покриви. Взаємодія лазерного випромінювання з шкірним покривом залежить від довжини хвилі і пігментації шкіри. Відображає здатність шкірного покриву у видимій області спектра висока. ЧИ далекої інфрачервоної області починає сильно поглинатися шкірних покривів, оскільки це випромінювання активно поглинається водою, яка становить 80% вмісту більшості тканин, виникає небезпека виникнення опіків шкіри.

Хронічний вплив низькоенергетичного (на рівні або менше ПДУ ЧИ) розсіяного випромінювання може призводити до розвитку неспецифічних зрушень в стані здоров'я осіб, які обслуговують лазери. При цьому воно є своєрідним фактором ризику розвитку невротичних станів і серцево-судинних розладів. Найбільш характерними клінічними синдромами, які виявляються у працюючих з лазерами, є астенічний, астеновегетативний і вегетосудинна дистонія.

5.3.3. НОРМУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Науково обґрунтовані два підходи до нормування ЧИ: перший - по ушкоджувальним ефектів тканин або органів, які виникають безпосередньо в місці опромінення; другий - на основі виявлених функціональних і морфологічних змін ряду систем і органів, що не піддаються безпосередньому впливу. Гігієнічне нормування ґрунтується на критеріях біологічного дії, обумовленого в першу чергу областю електромагнітного спектра. Відповідно до цього діапазон ЧИ розділений на ряд областей:

- від 0,18 до 0,38 мкм - ультрафіолетова область;
- від 0,38 до 0,75 мкм - видима область;
- від 0,75 до 1,4 мкм - ближня інфрачервона область;
- понад 1,4 мкм - далека інфрачервона область.

В основу встановлення величини ПДУ покладено принцип визначення мінімальних «порогових» пошкоджень в опромінюваних тканинах (сітківка, рогівка ока, шкіра), які виявляються сучасними методами дослідження під час або після впливу ЧИ. Нормованими параметрами є енергетична експозиція H (Дж х (м / 100)) і опромінення E (Вт х (м / 100)), а також енергія W (Дж) і потужність P (Вт).

Дані експериментальних та клініко-фізіологічних досліджень свідчать про переважують значенні загальних неспецифічних реакцій організму у відповідь на хронічне вплив низькоенергетичних рівнів ЧИ в порівнянні з місцевими локальними змінами з боку органу зору і шкіри. При цьому ЧИ видимій області спектра викликає зрушення у функціонуванні ендокринної та імунної систем, центральної і периферичної нервової системи, білкового, вуглеводного і ліпідного

обмінів. ЧИ з довжиною хвилі 0,514 мкм призводить до змін в діяльності симпатoadреналових і гіпофіз-надниркових систем.

Тривалий хронічний дію ЧИ довжиною хвилі 1,06 мкм викликає вегетосудинні порушення. Практично всі дослідники, які вивчали стан здоров'я осіб, які обслуговують лазери, підкреслюють більш високу частоту виявлення у них астенічних і вегетативно-судинних розладів. Отже, низькоенергетичний ЧИ при хронічній дії виступає як фактор ризику розвитку патології, що і визначає необхідність урахування цього чинника в гігієнічних нормативах.

Перші ПДУ ЧИ в Росії для окремих довжин хвиль були встановлені в 1972 р, а в 1981 р введені в дію перші санітарні норми і правила. У США існує стандарт ANSI - Z 136. Розроблено також стандарт Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) - публікація 825. Відмінною особливістю вітчизняного документа в порівнянні з зарубіжними є регламентація значень ПДК з урахуванням не тільки ушкоджують ефектів очей і шкіри, але і функціональних змін в організмі .

Широкий діапазон довжин хвиль, різноманітність параметрів ЧИ і викликаються біологічних ефектів ускладнюють задачу обґрунтування гігієнічних нормативів. До того ж експериментальна і особливо клінічна перевірка вимагають тривалого часу і коштів. Тому для вирішення завдань щодо уточнення та розробки ПДУ ЧИ використовують математичне моделювання. Це дозволяє істотно зменшити обсяг експериментальних досліджень на лабораторних тваринах. При створенні математичних моделей враховуються характер розподілу енергії та абсорбції характеристики опромінюваної тканини.

Метод математичного моделювання основних фізичних процесів (термічний і гідродинамічні ефекти, лазерний пробій і ін.), Що

призводять до деструкції тканин очного дна при впливі ЧИ видимого та ближнього інфрачервоного діапазонів з тривалістю імпульсів від 1 до 10-12 с, був використаний при визначенні та уточненні ПДУ ЧИ, які увійшли в останню редакцію «Санітарних норм та правил устрою та експлуатації лазерів» СНиП № 5804-91 (далі по тексту - правил № 5804-91, прим. ред.), які розроблені на підставі результатів наукових досліджень і обліку основних положень наступних документів:

- Санітарні норми і правила пристрою і експлуатації лазерів № 2392-81;
- Стандарт Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК), публікація 825, видання найперше, 1984 - «Радіаційна безпека лазерних виробів, класифікація обладнання, вимоги та керівництво для споживачів»;
- зміни до стандарту МЕК - публікація 825 (1987).

Той факт, що ці норми в даний час підлягають застосуванню, засвідчений Листом Росспоживнагляду від 16.05.2007 № 0100 / 4961-07-32. У ньому наведено Перелік основних діючих нормативних і методичних документів з гігієни праці, а також сказано наступне: відповідно до законодавства Російської Федерації на території Російської Федерації діють санітарні правила, норми і гігієнічні нормативи, затверджені, зокрема, Міністерством охорони здоров'я СРСР, в частині, що не суперечить санітарному законодавству Російської Федерації. Зазначені документи діють надалі до скасування або прийняття нових нормативно-правових актів взамін існуючих.

Правила № 5804-91 встановлюють гранично допустимі рівні (ПДУ) лазерного випромінювання при різних умовах впливу на людину, класифікацію лазерів за ступенем небезпеки генерованого ними випромінювання, а також вимоги:

- до влаштування та експлуатації лазерів;
- до виробничих приміщень, розміщення обладнання та організації робочих місць;
- до персоналу;
- до стану виробничого середовища;
- до застосування засобів захисту;
- до медичного контролю.

Слід мати на увазі, що значення ПДУ небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочому місці, обладнаному лазерною технікою, регулюються також ГОСТами, СНіПами, СН і іншими документами, які перераховані в Додатку 1 до Правил № 5804-91. Однак багато хто з цих документів втратили силу або замінені новими нормативами. Як вже говорилося вище, біологічний вплив лазерного випромінювання на організм залежить від довжини хвилі випромінювання, тривалості імпульсу (впливу), частоти проходження імпульсів, площі опромінюваної ділянки, а також від біологічних і фізико-хімічних особливостей опромінюваних тканин і органів.

Механізм взаємодії випромінювання з тканинами може бути тепловим, фотохімічним, ударно-акустичним і ін. Класифікація лазерів за ступенем небезпеки генерованого випромінювання приведена в розділі 4 Правил № 5804-91. Клас лазера визначається з урахуванням його потужності і ПДУ при одноразовому впливі генерованого випромінювання.

Класифікацію лазерів здійснює підприємство-виробник. Воно використовує розрахунковий метод, заснований на аналізі вихідних характеристик випромінювання. Приклад розрахунку наведено в розділі «Контроль рівнів небезпечних і шкідливих факторів при роботі з

лазерами» Правил № 5804-91. У цьому розділі є спеціальна таблиця, в якій відображена залежність небезпечних і шкідливих факторів від класу лазера (ГОСТ 12.1.040).

5.3.4. ВИМОГИ ДО МЕТОДАМИ, ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ І КОНТРОЛЮ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Дозиметрією ЧИ називають комплекс методів визначення значень пар метрів лазерного випромінювання в заданій точці простору з метою виявлення ступеня небезпеки і шкідливості його для організму людини. Лазерна дозиметрія включає два розділи:

- розрахункова, або теоретична дозиметрія (розглядає методи розрахунку параметрів ЧИ в зоні можливого перебування операторів і прийоми обчислення ступеня його небезпеки);
- експериментальна дозиметрія (розглядає методи і засоби безпосереднього вимірювання параметрів ЧИ в заданій точці простору).

Засоби вимірювання, призначені для дозиметричного контролю називаються лазерними дозиметрами. Дозиметричний контроль набуває особливого значення для оцінки відображених і розсіяних випромінювань, коли розрахункові методи лазерної дозиметрії, засновані на даних вихідних характеристик лазерних установок, дають вельми наближені значення рівнів ЧИ в заданій точці контролю.

Використання розрахункових методів диктується відсутністю можливості провести вимірювання параметрів ЧИ для усього розмаїття лазерної техніки. Розрахунковий метод лазерної дозиметрії дозволяє оцінити ступінь небезпеки випромінювання в заданій точці простору,

використовуючи в розрахунках паспортні дані. Метод зручний для робіт з рідко повторюються короткочасними імпульсами випромінювання, коли обмежена можливість вимірювання максимального значення експозиції, визначення лазерно-небезпечних зон, класифікації лазерів за ступенем небезпеки генерованого ними випромінювання.

Методи дозиметричного контролю встановлені в «Методичних вказівках для органів і установ санітарно-епідеміологічних служб з проведення дозиметричного контролю та гігієнічної оцінки лазерного випромінювання» № 5309-90, а також частково розглянуті в Правилах № 5804-91.

В основі методів лазерної дозиметрії лежить принцип найбільшого ризику, відповідно до якого оцінка ступеня небезпеки повинна проводитися для найгірших з точки зору біологічного впливу умов опромінення, тобто вимір рівнів лазерного опромінення слід проводити при роботі лазера в режимі максимальної віддачі потужності (енергії), визначеної умовами експлуатації. У процесі пошуку і наведення вимірювального приладу на об'єкт випромінювання має бути знайдено такий стан, при якому реєструються максимальні рівні ЧИ. При роботі лазера в імпульсно-періодичному режимі вимірюють енергетичні характеристики максимального імпульсу серії.

При гігієнічній оцінці лазерних установок потрібно вимірювати параметри випромінювання на виході, а інтенсивність опромінення критичних органів людини (очі, шкіра), яка впливає на ступінь біологічної дії. Ці вимірювання проводять в конкретних точках (зонах), в яких програмою лазерної установки визначені наявність обслуговуючого персоналу і рівні відбитого або розсіяного ЧИ неможливо знизити до нуля.

Межі вимірювань дозиметрів визначаються значеннями ПДУ і технічними можливостями сучасної фотометричної апаратури. У Росії розроблені спеціальні засоби вимірювань для дозиметричного контролю ЧИ - лазерні дозиметри. Вони відрізняються високою універсальністю, що полягає в можливості контролю як спрямованого, так і розсіяного безперервного, моноімпульсного і імпульсно-періодичного випромінювання більшості застосовуваних на практиці лазерних установок.

Лазерний дозиметр ІЛД-2М (ІЛД-2) забезпечує вимірювання параметрів лазерного випромінювання в спектральних діапазонах 0,49 - 1,15 і 2 - 11 мкм. ІЛД-2М дозволяє вимірювати енергію (W) і енергетичну експозицію (H) від моноімпульсного і імпульсно-періодичного випромінювання, потужність (P) і опромінення (E) від безперервного лазерного випромінювання. До недоліків приладу ІЛД-2М слід віднести порівняно великі габарити і масу. Для виробничих досліджень більш придатні портативні лазерні дозиметри ЛД-4 і «кладіно», які забезпечують вимір відбитого і розсіяного лазерного випромінювання в спектральному діапазоні 0,2 - 20 мкм.

Наявність інших небезпечних і шкідливих виробничих факторів в значній мірі визначається класом небезпеки лазера. Контроль їх здійснюється відповідно до чинних нормативно-методичними документами.

5.3.5. ПРОФІЛАКТИКА шкідливого ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Захист ЧИ здійснюють технічними, організаційними і лікувально-профілактичними методами і засобами.

До організаційно-технічних методів відносяться:

- вибір, планування і внутрішнє оздоблення приміщень;
- раціональне розміщення лазерних технологічних установок;
- порядок обслуговування установок;
- використання мінімального рівня випромінювання для досягнення поставленої мети;
- організація робочого місця;
- застосування засобів захисту;
- обмеження часу впливу випромінювання;
- призначення та інструктаж осіб, відповідальних за організацію і проведення робіт;
- обмеження допуску до проведення робіт;
- організація нагляду за режимом робіт;
- чітка організація протиаварійних робіт і регламентація порядку ведення робіт в аварійних умовах;
- інструктаж, плакати;
- навчання персоналу.

Санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні методи включають:

- контроль за рівнями небезпечних і шкідливих факторів на робочих місцях;
- контроль за проходженням персоналом попередніх і періодичних медичних оглядів.

Виробничі приміщення, в яких експлуатуються лазери, повинні відповідати вимогам діючих санітарних норм і правил. Лазерні установки розміщують таким чином, щоб рівні випромінювання на робочих місцях були мінімальними.

Засоби захисту від ЧИ повинні забезпечувати запобігання впливу або зниження величини випромінювання до рівня, що не перевищує допустимий. За характером застосування засобу захисту поділяються на засоби колективного захисту (СКЗ) та засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Надійні і ефективні засоби захисту сприяють підвищенню безпеки праці, знижують виробничий травматизм і професійну захворюваність. До СКЗ від ЧИ відносяться огорожі, захисні екрани, блокування і автоматичні затвори, кожухи та ін. ЗІЗ від лазерного випромінювання включають захисні окуляри, щитки, маски і ін. Засоби захисту застосовуються з урахуванням довжини хвилі ЧИ, класу, типу, режиму роботи лазерної установки, характеру виконуваної роботи.

СКЗ повинні передбачатися на стадії проектування і монтажу лазерів (лазерних установок), при організації робочих місць, при виборі експлуатаційних параметрів. Вибір засобів захисту повинен проводитися в залежності від класу лазера (лазерної установки), інтенсивності випромінювання в робочій зоні, характеру виконуваної роботи. Показники захисних властивостей засобів захисту не повинні знижуватися під впливом інших небезпечних і шкідливих факторів (вібрації, температури і т.д.). Конструкція засобів захисту повинна забезпечувати можливість зміни основних елементів (світлофільтрів, екранів, оглядового скла та ін.).

Засоби індивідуального захисту очей та обличчя (захисні окуляри і щитки), що знижують інтенсивність ЧИ до ПДУ, повинні застосовуватися тільки в тих випадках (пусконаладжувальні, ремонтні та експериментальні роботи), коли колективні засоби не забезпечують безпеку персоналу.

При роботі з лазерами повинні застосовуватися тільки такі засоби захисту, на які є нормативно-технічна документація, затверджена в установленому порядку.

5.4. Висновки до розділу

В даному розділі було визначено негативні фактори впливу лазерного випромінювання на навколишнє середовище та людину, а також методи захисту від їх впливу. Були наведені допустимі норми забруднень навколишнього середовища згідно з основними стандартами.

Провели аналіз з контролю технічних відходів які утворюються фабриками під час виготовлення напівпровідників, в тому числі які використовуються в потужних лазерах, тому можна зробити висновок, що світовому виробництву необхідно приділяти більше уваги центрам утилізації та подальшої переробки використаних матеріалів, а також якомога скорішого переходу до використання відновлюваних джерел електричної енергії.

ВИСНОВКИ

Сучасна цивільна авіація відіграє велику роль в єдиній транспортній системі і народному господарстві країни.

Основні задачі вітчизняного авіатранспорту – своєчасне, якісне і повне задоволення потреб народного господарства і населення в перевезеннях, підвищення економічної ефективності його роботи, для цього треба вдосконалювати єдину систему управління повітряним рухом, прискорюючи введення відповідних автоматизованих систем. Збільшити пасажирообіг, скоротити питому витрату палива на 3–5%.

Також основними показниками ефективності роботи авіаційної транспортної системи є безпека та регулярність польотів повітряних суден, економічності їх експлуатації.

В зв'язку зі змінами основних характеристик сучасних літальних апаратів – швидкості і висоти польоту, дальності, вантажопідйомність, потужність силових установок – створилась потреба для значних змін технічних вимог до бортових вимірювальних приладів, в тому числі, і до систем вимірювання витрати палива.

Витратоміри використовуються також для проведення науково-дослідних робіт, управління виробничим процесом, для контролю роботи енергетичних установок, управління літаками і космічними апаратами, контролю роботи зрошувальних систем в сільському господарстві і в багатьох інших випадках. Без витратомірів неможливо забезпечити нормальний режим роботи важливих технологічних процесів в таких галузях промисловості, як енергетика, металургія, нафтогазова, хімічна, целюлозно-

паперова, харчова та інші. Без цих приладів не можна також і автоматизувати відповідні процеси і забезпечити при цьому максимальний ефект виробництва. Витратоміри сприяють підвищенню якості виготовлення продукції, ліквідації браку і економії вихідних матеріалів. Річний економічний ефект від впровадження витратомірів в масштабах всієї країни вимірюється мільйонами грн.

В теперішній час на борту літального апарату використовуються витратоміри палива в яких в якості первинного перетворювача застосовується крильчатка. Таким є турбінний перетворювач витрат палива. До його складу входить гідравлічна крильчатка, вісь обертання якої рівнобіжна напрямку потоку. Основним недоліком цього перетворювача являється вплив моменту тертя в осях крильчатки на точність вимірювання витрат.

До числа порівняно нових, але таких що швидко розвиваються, методів вимірювання локальних швидкостей потоку і витрати відносяться методи, засновані на застосуванні оптичних квантових генераторів-лазерів (ОКГ).

Перевагами цих методів є: безконтактність, висока чутливість, мала інерційність, великий діапазон вимірювань швидкостей і витрат незалежно від фізичних властивостей вимірюваного середовища (як рідин, так і газів), за винятком вимоги її прозорості в діапазоні довжин хвиль, випромінюваних квантовими генераторами.

Найбільш перспективним є використання оптичних методів в експериментальній гідродинаміці, особливо в області турбулентних явищ, вивчення яких традиційними способами (наприклад, за допомогою термоанемометрів) вже не дає бажаних результатів через недостатню точність приладів і, головне, внесення ними спотворень в досліджувану структуру потоку. Крім того, лазерні витратоміри використовують при вимірюванні витрати агресивних, високо- і низькотемпературних (криогенних) рідин і газів.

В даний час поширення набули дві конструктивні різновиди оптичних (лазерних) витратомірів, які відрізняються покладеними в їх основу фізичними явищами: витратоміри, засновані на ефекті розсіювання світла рухомими частинками (доплерівські витратоміри), і витратоміри, засновані на ефекті Фізо-Френеля.

В оптичному витратомірі, що реалізує перший ефект, випромінювання лазера, розсіяне рухомими в потоці природними або штучно введеними частинками, набуває частотний зсув, пропорційний середній швидкості руху частинок.

Беручи до уваги всі вищезгадані переваги та аналізуючи перспективи використання оптичних (лазерних) витратомірів, нами була поставлена мета розробити сучасний прототип лазерного доплерівського витратоміру, який не має недоліків, присутніх в існуючих прототипах.

В результаті виконання роботи, ми розробили сучасний лазерний доплерівський витратомір, який дозволяє з високою точністю вимірювати витрату оптично активних середовищ. Це досягається за рахунок використання лазера, чотирьох зустрічних зондувальних пучків, які попарно мають взаємно ортогональні циркулярні поляризації. Зондувальні пучки фокусуються двома лінзами, оптичні осі яких збігаються з віссю симетрії прозорого трубопроводу. Розсіяне випромінювання від чотирьох зондувальних пучків збирається двома прийомними блоками і далі за допомогою світловодів прямує на фотоприймач, який через смуговий фільтр з'єднаний з цифровим обчислювачем.

Використання схеми ЛДВ з просвітленою оптикою з чотирма зондуючими пучками, сумарна потужність яких практично дорівнює $P_{\Sigma} = 4P_2$, де P_2 - потужність лазерного пучка 2, дозволяє істотно підвищити відношення сигнал / шум і відповідно точність вимірювання швидкості і витрати рідкого середовища. При цьому на відміну від прототипу, в якому використовується два лазери, в пристрої використовується тільки один лазер потужністю P_2 . Невзаємний фазорегулятор 12 - комірка Фарадея, дозволяє

при використанні двох прийомних блоків і двох світловодів 21 і 22, також підвищити потужність корисного сигналу, оскільки за рахунок регулювання фаз корисних сигналів він забезпечує режим синфазного прийому двох сигналів (1) і (6), що мають однакові доплерівські частоти .

Крім того пропонований ЛДВ має меншу вагу і вартість в порівнянні з прототипом, в якому необхідно використовувати замість одного два лазера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Землянський В.М., Гусев М.О., Єгоров С.Г., Поляк С.В. Лазерний доплерівський швидкісний витратомір. Патент України (МПК G01 3/36), 2019.
2. Землянский В.М., Грохольский А. Л. Лазерный доплеровский измеритель локальной скорости. А. С. СССР №617999, БИ №46, 1982г.
3. Землянський В.М., Гусев М.О., Єгоров С.Г. Лазерний доплерівський вимірювач швидкості. Патент України UA 98377, Бюл. №9, 2012.
4. Землянский В.М. Измерение скорости лазерным доплеровским методом. К.: Вища шк., 1987 г. – 177с.
5. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 / Под общ. ред. Е. А. Шорникова. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2004. — 412 с.
6. Балдин А.А. Разработки Арзамасского ОКБ "Импульс" в области измерения расхода//Совершенствование средств измерения расхода жидкости, газа и пара. Под ред. Кремлевского П.П. Л.: Знание, 1992. 116с.
7. П.Романов В.Г. Измерение расходов и количества жидкости, газа, пара, 1987.

8. Хамидулин В.К. Ультразвуковые преобразователи расхода и уровня сред. Учеб. пособие//Ин-т авиационного приборостроения СП б. 1992г. 82с.
9. История развития расходомеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.tultrasonicflowmeter.com/news/the-development-history-of-flowmeter-5637337>.
10. Витрата рідких речовин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.metalstanki.com.ua/rashod-gutkosti>.
11. Прилади для вимірювання витрати рідких речовин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iteu.com.ua/>.
12. Конспект лекцій з дисципліни: «Інформаційно-вимірювальні пристрої та системи авіоніки».
13. Конспект лекцій з дисципліни: «Оптичні пристрої та лазерна електроніка»
14. Лазерное излучение и защита от него на производстве [Электронный ресурс].–Режим доступа: http://ohranabgd.ru/bgdproiz/bgdproiz1_55.
15. **Защита от лазерного излучения** [Электронный ресурс].–Режим доступа:https://studme.org/1806020313843/bzhd/zaschita_lazernogo_izlucheniya
16. **Защита от лазерного излучения излучения** [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.protrud.com>.
17. **Лазерное излучение как вредный фактор производственной среды** [Электронный ресурс].–Режим доступа: <https://www.trudcontrol.ru/press/publications/5043/lazernoe-izluchenie-kak-vredniy-faktor-proizvodstvennoy-sredi>.